



TUGAS AKHIR - RG 141536

STUDI PENENTUAN VOLUME DENGAN *TOTAL STATION* DAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER*

REZA FAJAR MAULIDIN
NRP 3512 100 083

Dosen Pembimbing
HEPI HAPSARI HANDAYANI, ST, M.Sc

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

VOLUME DETERMINATION USING TOTAL STATION AND TERRESTRIAL LASER SCANNER

REZA FAJAR MAULIDIN
NRP 3512 100 083

Supervisor
HEPI HAPSARI HANDAYANI ST, M.Sc

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI PENENTUAN VOLUME DENGAN *TOTAL STATION* DAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER*

Nama Mahasiswa : Reza Fajar Maulidin
NRP : 3512 100 083
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP - ITS
Dosen Pembimbing : Hepi Hapsari Handayani, ST, M.Sc

Abstrak

Bidang teknik sering membutuhkan penentuan volume, bahkan penentuan volume juga berpengaruh dalam bidang lain seperti bidang perekonomian serta digunakan dalam berbagai riset. Penentuan volume dalam geodesi dibantu alat ukur yang teknologinya terus berkembang. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil penentuan volume dari 2 alat ukur dengan teknologi berbeda, Total Station (TS) dan Terrestrial Laser Scanner (TLS) sebagai teknologi terbaru. Kemudian dilakukan uji ketelitian dari hasil tersebut serta beberapa analisa pada setiap proses sebelum nilai volume didapatkan.

Dalam penelitian ini dilakukan penentuan volume dengan TS dan TLS pada obyek berbentuk beraturan (kontainer) sebagai obyek 1 dan tidak beraturan (bukit kapur) sebagai obyek 2. Pengukuran volume menggunakan dua metode pengukuran, yakni tachymetri untuk alat ukur TS dan Terrestrial Laser Scanning untuk alat ukur TLS. Analisa dilakukan dengan uji ketelitian koordinat Independent Check Point (ICP) dan hasil volume dari Terrestrial Laser Scanner dengan acuan hasil dari Total Station sebagai teknologi terdahulu.

Berdasarkan uji statistik t-student yang telah dilakukan pada ICP obyek 1 sumbu X semua koordinat diterima, sedangkan sumbu Y dan Z terdapat masing-masing 2 koordinat yang ditolak. Pada ICP obyek 2, pada sumbu X dan Z terdapat masing-masing 1 koordinat yang ditolak, sedangkan untuk sumbu Y terdapat 2 koordinat yang ditolak. Terdapat 8 sampel yang ditolak

dari 36 sampel atau 77.78% sampel uji diterima. Berdasarkan uji statistikt-student yang telah dilakukan pada volume, semua nilai volume diterima. Dari hasil analisa terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang cukup berarti/signifikan antara kedua alat ukur dalam hal ketelitian koordinat ICP maupun volume.

Kata Kunci: Total Station, Terrestrial Laser Scanner, Independent Check Point, Volume

VOLUME DETERMINATION USING TOTAL STATION AND TERRESTRIAL LASER SCANNER

Name : Reza Fajar Maulidin
NRP : 3512 100 083
Department : Geomatics Engineering FTSP - ITS
Supervisor : Hepi Hapsari Handayani, ST, M.Sc

Abstract

Engineering sector often need volume determination, even volume determination also have influence in the other sector, like economy and many kind of research. In geodesy, volume determination helped by instruments with many developments. The purpose of this research is determine volume from 2 measurement instruments with different technology, Total Station (TS) and Terrestrial Laser Scanner (TLS) as the newest technology. Then statistical test given to each results and some analysis in every process before volume obtained.

In this research volume determination executed with TS and TLS on geometric object (container) as object 1 and non geometric object (limestone hill) as object 2. Volume determination using two methods of measurement, tachymetry method for TS dan Terrestrial Laser Scanning method for TLS. The analysis is accuracy test to Independent Check Point (ICP) coordinates dan volume from Terrestrial Laser Scanner with the reference is the result Total Station as an early technology.

According t-student test for ICP, on object 1 all of coordinates in X axis are accepted, two coordinates in each X and Y axis are rejected. On object 2 all of coordinates in X axis are accepted, one coordinate in each X and Z axis and two coordinates in the Y axis are rejected. There are 8 samples rejected from 36 samples, or 77.78% samples accepted. Based on result from the analysis, it appears that there are no significant

differences between these two methods and instruments on ICP coordinates and volume accuracy.

Keywords: Total Station, Terrestrial Laser Scanner, Independent Check Point, Volume

**STUDI PENENTUAN VOLUME DENGAN TOTAL
STATION DAN TERRESTRIAL LASER SCANNER**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Jurusan S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

REZA FAJAR MAULIDIN

NRP. 3512 100 083

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Dr. Hapsari Mandayani, ST, M.Sc
NIP. 1963 0613 2006 04 1001

SURABAYA, JUNI 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Volume.....	5
2.1.1. Metode Irisan Melintang	5
2.1.2. Metode Kontur	6
2.1.3. Metode <i>Borrow Pit</i>	8
2.1.4. Metode <i>Cut and Fill Point Cloud</i>	9
2.2. Global Positioning System (GPS).....	10
2.2.1. Ketelitian GPS dalam Penentuan Posisi	11
2.2.2. Kesalahan dan Bias	12
2.3. <i>Total Station</i>	12
2.3.1. Prinsip Dasar Pengukuran Sudut.....	13
2.3.2. Prinsip Dasar Pengukuran Jarak.....	13
2.4. Pengukuran Kerangka Kontrol.....	14
2.4.1. Kerangka Kontrol Horisontal	14
2.4.2. Kerangka Kontrol Vertikal.....	15
2.5. Pengukuran Metode <i>Tachymetri</i>	15
2.6. <i>Terrestrial Laser Scanning</i>	17
2.6.1. Prinsip Pengukuran TLS	18
2.6.2. Klasifikasi <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	22

2.6.3.	Teknik Registrasi Data	23
2.6.4.	Rekonstruksi Permukaan	26
2.6.5.	<i>Noise Filtering</i>	27
2.6.6.	<i>Resampling</i>	30
2.6.7.	<i>Self-Calibration TLS</i>	31
2.7.	Desain Kekuatan Jaring.....	31
2.8.	RMSE (<i>Root Mean Square Error</i>)	34
2.9.	Uji Statistik <i>t-student</i>	35
BAB III.	METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1.	Lokasi Penelitian	37
3.2.	Data dan Peralatan.....	38
3.2.1.	Data	38
3.2.2.	Peralatan	38
3.3.	Tahapan Penelitian	40
BAB IV.	HASIL DAN ANALISA	47
4.1.	Hasil	47
4.1.1.	Pengukuran GNSS Titik Kontrol.....	47
4.1.2.	Pengukuran Kerangka Kontrol	49
4.1.3.	GCP dan ICP	51
4.1.4.	Pengukuran Detil Situasi	55
4.1.5.	Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanning</i>	56
4.1.6.	Registrasi Data	58
4.1.7.	<i>Filtering Data</i>	59
4.1.8.	ICP (<i>Terrestrial Laser Scanner</i>).....	61
4.1.9.	Model 3D.....	61
4.1.10.	Volume	64
4.2.	Analisa.....	65
4.2.1.	Analisa Pengukuran GNSS	65
4.2.2.	Analisa Kerangka Kontrol.....	66
4.2.3.	Analisa GCP dan ICP	67
4.2.4.	Analisa Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanning</i>	69
4.2.5.	Analisa Registrasi Data	70
4.2.6.	Analisa <i>Filtering Data</i>	72

4.2.7. Analisa Ketelitian ICP	72
4.2.8. Analisa Model 3D	75
4.2.9. Analisa Volume	76
4.2.10. Analisa Pelaksanaan Penelitian	77
BAB V. PENUTUP.....	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN.....	85
PROFIL PENULIS	103

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Penentuan Volume dengan Metode Potongan Melintang Rata-Rata.....	6
Gambar 2.2.	Penentuan Volume dengan Garis Kontur	7
Gambar 2.3.	Penentuan Volume dengan <i>Metode Borrow Pit</i>	8
Gambar 2.4.	Perhitungan Volume dengan Metode <i>Cut and Fill</i>	9
Gambar 2.5.	Segmen GPS.....	11
Gambar 2.6.	Metode <i>Tachymetri</i>	16
Gambar 2.7.	Mekanisme Pengukuran TLS	20
Gambar 2.8.	Prinsip Pengukuran TLS.....	21
Gambar 2.9.	Perbedaan 3 Jenis TLS	23
Gambar 2.10.	Pendekatan <i>Noise Filtering</i>	29
Gambar 3.1.	Lokasi Penelitian	37
Gambar 3.2.	Diagram Alir Tahapan Penelitian	41
Gambar 3.3.	Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data.....	43
Gambar 4.1.	Sketsa Hasil Pengukuran GNSS pada Obyek 1.....	47
Gambar 4.2.	Sketsa Hasil Pengukuran GNSS pada Obyek 2.....	48
Gambar 4.3.	Poligon pada Obyek 1.....	49
Gambar 4.4.	Poligon pada Obyek 2.....	50
Gambar 4.5.	Letak GCP dan ICP pada Obyek 1	52
Gambar 4.6.	Sketsa GCP dan ICP pada Obyek 1	52
Gambar 4.7.	Letak Titik GCP dan ICP.....	53
Gambar 4.8.	Sketsa Titik GCP dan ICP	54
Gambar 4.9.	Sebaran Titik Pengukuran Detil Situasi.....	55
Gambar 4.10.	Sebaran Titik Pengukuran Detil Situasi.....	56
Gambar 4.11.	Sketsa Posisi <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	57
Gambar 4.12.	Sketsa Posisi <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	57
Gambar 4.13.	Obyek 1 Sebelum Proses <i>Filtering</i>	59
Gambar 4.14.	Obyek 1 Setelah Proses <i>Filtering</i>	59
Gambar 4.15.	Obyek Sebelum Proses <i>Filtering</i>	60

Gambar 4.16.	Obyek 2 Setelah Proses <i>Filtering</i>	60
Gambar 4.17.	Model 3D Obyek 1 dari Data Pengukuran <i>Tachymetri</i> Skala 1:100	62
Gambar 4.18.	Model 3D Obyek 1 dari Data Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanning</i> Skala 1:100	62
Gambar 4.19.	Model 3D Obyek 2 dari Data Pengukuran <i>Tachymetri</i> Skala 1:150	63
Gambar 4.20.	Model 3D Obyek 2 dari Data Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanning</i> Skala 1:150	63
Gambar 4.21.	Jaring dari GCP dan ICP pada Obyek 1	67
Gambar 4.22.	Jaring dari GCP dan ICP pada Obyek 2	68
Gambar 4.23.	Sudut Horisontal Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanning</i> pada Obyek 1	69
Gambar 4.24.	Sudut Horisontal Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanning</i> pada Obyek 2	70
Gambar 4.25.	Grafik <i>Filtering</i> Data <i>Point Cloud</i>	72
Gambar 4.26.	Grafik Presentase ICP Diterima dalam Uji Statistik	74

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Koordinat Titik Pengukuran GNSS Obyek 1.....	48
Tabel 4.2.	Standar Deviasi Pengukuran GNSS Obyek 1	48
Tabel 4.3.	Koordinat Titik Pengukuran GNSS Obyek 2.....	49
Tabel 4.4.	Standar Deviasi Pengukuran GNSS Obyek 2	49
Tabel 4.5.	Sudut dan Jarak Poligon pada Obyek 1	50
Tabel 4.6.	Koordinat Poligon pada Obyek 1.....	50
Tabel 4.7.	Sudut dan Jarak Poligon pada Obyek 2	51
Tabel 4.8.	Koordinat Poligon pada Obyek 2.....	51
Tabel 4.9.	Koordinat GCP dan ICP pada Obyek 1	53
Tabel 4.10.	Koordinat GCP dan ICP pada Obyek 1	54
Tabel 4.11.	GCP Registrasi Data pada Obyek 1	58
Tabel 4.12.	RMS <i>Error</i> Registrasi Data pada Obyek 1	58
Tabel 4.13.	GCP Registrasi Data pada Obyek 2	58
Tabel 4.14.	RMS <i>Error</i> Registrasi Data pada Obyek 2	58
Tabel 4.15.	Koordinat ICP <i>Point Cloud</i> pada Obyek 1	61
Tabel 4.16.	Koordinat ICP <i>Point Cloud</i> pada Obyek 2	61
Tabel 4.17.	Hasil Perhitungan Volume pada Obyek 1.....	64
Tabel 4.18.	Hasil Perhitungan Volume pada Obyek 2.....	64
Tabel 4.19.	Analisa Pengukuran GNSS pada Obyek 1	65
Tabel 4.20.	Analisa Pengukuran GNSS pada Obyek 2	65
Tabel 4.21.	Kesalahan Kerangka Kontrol pada Obyek 1.....	66
Tabel 4.22.	Kesalahan Kerangka Kontrol pada Obyek 2.....	66
Tabel 4.23.	Analisa RMS <i>Error</i> Registrasi pada Obyek 1.....	71
Tabel 4.24.	Analisa RMS <i>Error</i> Registrasi pada Obyek 2.....	71
Tabel 4.25.	Hasil Uji Statistik ICP pada Obyek 1	73
Tabel 4.26.	Hasil Uji Statistik ICP pada Obyek 2	74
Tabel 4.27.	Analisa Model 3D.....	75
Tabel 4.28.	Hasil Uji Statistik Volume pada Obyek 1.....	76
Tabel 4.29.	Hasil Uji Statistik Volume pada Obyek 1.....	76
Tabel 4.30.	Analisa Pelaksanaan Penelitian.....	77

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Spesifikasi GPS <i>Topcon HiPer Pro</i>	85
Lampiran 2.	Spesifikasi TS <i>Sokkia CX Series</i>	87
Lampiran 3.	Spesifikasi TLS <i>GeoMax Zoom 300</i>	89
Lampiran 4.	Koordinat Pengukuran Detil Situasi.....	91

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Volume suatu material merupakan hal yang penting dalam banyak pekerjaan teknik. Akurasi bentuk dan estimasi volume dari material tersebut penting dalam banyak aplikasi, misalnya, studi erosi, estimasi pengambilan bahan tambang dan penilaian lahan untuk konstruksi (Schluz dan Schachter 1980 dalam Yakara dan Yilmazb, 2008). Dalam berbagai pekerjaan Teknik, khususnya yang berhubungan dengan pembangunan, penentuan volume suatu obyek sering dilakukan. Bahkan penentuan volume yang dilakukan dalam bidang pembangunan juga berpengaruh dalam bidang lain seperti bidang perekonomian serta digunakan dalam berbagai riset dalam rangka pengembangan teknologi. Obyek yang ditentukan volumenya bisa memiliki bentuk beraturan (geometris) seperti gudang dan kontainer, maupun tidak beraturan (non geometris) seperti endapan di laut, tanah urugan (*existing*), dan material pertambangan.

Dalam bidang geodesi, penentuan volume dibantu dengan alat-alat ukur. Alat ukur di bidang geodesi berkembang dari awalnya dalam bentuk analog sampai ke bentuk digital. Perkembangan alat ukur tersebut ditandai dengan banyaknya titik atau posisi yang dapat diambil dalam satu satuan waktu serta akurasinya. Perkembangan alat ukur digital diawali dengan munculnya *Electronic Distance Meter* (EDM). Prinsip pengukuran EDM menggunakan waktu tempuh dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dikalikan dengan kecepatan cahaya yang dipancarkan. EDM dikembangkan menjadi *Total Station* (TS) yang memiliki prinsip merekam data jarak dan sudut yang diubah ke bentuk koordinat x, y, dan z dengan beberapa perhitungan. Metode yang

digunakan dalam pengukuran dengan TS untuk penentuan volume suatu obyek yakni pengukuran detail situasi dengan metode *tachymetri*. Seiring dengan kemajuan teknologi, alat ukur TS berkembang menjadi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) yang memiliki prinsip *scan* obyek dengan pancaran sinar lasernya yang kemudian dipantulkan kembali oleh obyek. Hasil yang diperoleh dari TLS adalah kumpulan titik-titik dengan kerapatan serta luas jangkauan tertentu. Kumpulan titik tersebut membentuk suatu model tiga dimensi, kemudian digunakan dalam penentuan volume suatu obyek.

Penentuan volume dengan pengukuran metode *tachymetri* yang dibantu alat TS sering dilakukan dalam berbagai pekerjaan teknik. Pengukuran dilakukan dengan merekam data koordinat pada permukaan obyek yang dianggap merepresentasikan bentuk suatu obyek yang akan dihitung volumenya. Semakin tidak beraturan bentuk suatu obyek, semakin banyak pula data yang harus dikumpulkan. Munculnya TLS sebagai teknologi terbaru membuat pekerjaan perhitungan volume semakin mudah dan cepat. Dengan TLS, setiap detik bisa merekam hingga ribuan bahkan puluhan ribu titik. Perkembangan teknologi pada alat ukur digital tersebut tentunya juga diiringi dengan kelebihan maupun kekurangan masing-masing. Teknologi terkini tentunya tidak selalu unggul dalam semua aspek jika dibandingkan dengan teknologi sebelumnya. Oleh karena itu diperlukan penelitian berupa perbandingan teknologi terkini dan teknologi sebelumnya dengan beberapa aspek pengujian.

Dalam penelitian ini akan dilakukan penentuan volume dengan alat *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner* terhadap obyek berbentuk beraturan dan tidak beraturan. Sampel obyek berbentuk beraturan dalam penelitian ini adalah kontainer, sedangkan obyek berbentuk tidak beraturan yakni bukit kapur. Selanjutnya dilakukan

analisa perbandingan volume yang dihasilkan oleh masing-masing alat pada masing-masing obyek.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang mendasaridilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana volume yang dihasilkan dari pengukuran dengan alat *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner* pada obyek berbentuk beraturan dan tidak beraturan?
2. Bagaimana ketelitian (akurasi) koordinat *Independent Check Point* (ICP) dari *Terrestrial Laser Scanner*?
3. Bagaimana ketelitian (akurasi) volume yang dihasilkan *Terrestrial Laser Scanner*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer, yakni data pengukuran langsung di lapangan.
2. Alat yang digunakan dalam tahappengumpulan data pada penelitian ini adalah *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner*.
3. Koordinat ICP dan hasil volume yang dijadikan referensi adalah hasil dari pengukuran metode *tachymetri* dengan alat *Total Station* karena sebagai teknologi terdahulu, ketelitiannya telah teruji.
4. Obyek penelitian ini adalah kontainer sebagai obyek berbentuk beraturan dan bukit kapur sebagai obyek berbentuk tidak beraturan.
5. Metode perhitungan volume yang digunakan dalam Penelitian ini yakni metode kontur dan metode *cut and fill point cloud*.

1.4. **Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menentukan volume obyek dengan alat ukur *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner*.
2. Melakukan analisa ketelitian koordinat ICP dari *Terrestrial Laser Scanner* dengan acuan hasil dari pengukuran menggunakan *Total Station*.
3. Melakukan analisa ketelitian hasil perhitungan volume dari *Terrestrial Laser Scanner* dengan acuan hasil dari pengukuran menggunakan *Total Station*.

1.5. **Manfaat**

Manfaat yang diharapkan setelah dilakukan penelitian ini yakni dapat menyajikan hasil yang memberikan alternatif mengenai pemilihan alat ukur dan teknologinya untuk penentuan volume disesuaikan dengan kemampuan dan kebutuhan sebuah pekerjaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Volume

Volume adalah jumlah ruang yang ditempati oleh sampel material. Material yang dimaksud dapat berupa material padat, cair, maupun gas. Volume benda pada prinsipnya biasa dihitung dengan mengalikan panjang dengan lebar (luas alas) dan tingginya. Karena masing-masing adalah pengukuran besaran panjang, maka bisa dikatakan bahwa satuan volume yang berasal dari satuan panjang. Satuan Internasional (SI) untuk volume adalah meter kubik (m^3), yang merupakan volume yang ditempati oleh sebuah kubus yang berukuran 1 m di setiap sisi. Satuan lain yang banyak dipakai adalah liter ($l = dm^3$) dan mili liter ($ml = cc$).

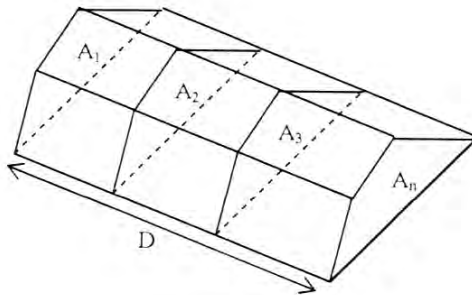
Prinsip hitungan volume adalah 1 (satu) luasan dikalikan dengan 1 (satu) yang diwakili tinggi. Jika ada beberapa luasan atau beberapa tinggi, maka dibuat wakilnya, misalnya dengan menghitung luas rata-rata ataupun tinggi rata-rata. Ada beberapa cara atau Metode untuk menghitung volume.

2.1.1. Metode Irisan Melintang

Irisan melintang diambil tegak lurus terhadap sumbu proyek dengan interval jarak tertentu dalam metode ini. Metode ini cocok digunakan untuk pekerjaan yang bersifat memanjang seperti perencanaan jalan raya, jalan kereta api, saluran, penanggulan sungai, penggalian pipa dan lain-lain. Dalam metode ini volume didapat dengan mengalikan luas rata-rata dari irisan yang ada dengan jarak antara irisan awal dan akhir. Apabila irisan-irisan tersebut A_1 , A_2 , A_3 ,

.... A_{n-1} , A_n dan jarak antara irisan A_1 ke $A_n = D$
maka:

$$\text{Volume} = V = \left(\frac{A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_{n-1} + A_n}{n} \right) \cdot D \quad (2.1)$$



Gambar 2.1. Penentuan Volume dengan Metode Potongan
Melintang Rata-Rata
(Irvine,1995)

Keterangan gambar:

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_{n-1}, A_n$: Luas tampang ke-1 sampai ke- n (m^2)

D : Jarak antar penampang (m)

V : Volume jarak rata-rata (m^3)

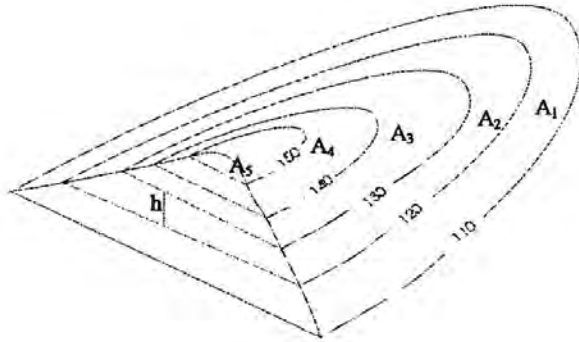
2.1.2. Metode Kontur

Garis kontur adalah garis yang menghubungkan titik-titik yang memiliki ketinggian yang sama, sehingga bidang yang dibentuk oleh sebuah garis kontur adalah merupakan bidang datar. Luas penampang ditentukan dengan luasan yang dibatasi oleh suatu garis kontur, sedangkan beda tinggi atau jarak antar penampang ditentukan dari interval garis

kontur, yaitu beda tinggi antara dua garis kontur yang berurutan.

Metode ini juga dipakai untuk digunakan pada endapan bijih dimana ketebalan dan kadar mengecil dari tengah ke tepi endapan. Volume dapat dihitung dengan cara menghitung luas daerah yang terdapat di dalam batas kontur, kemudian mempergunakan prosedur-prosedur yang umum dikenal. Gambar di bawah ini merupakan ilustrasi penentuan volume menggunakan metode gariskontur. Volume metode kontur dihitung dengan rumus:

$$V = h \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{n} \quad (2.2)$$



Gambar 2.2. Penentuan Volume dengan Garis Kontur
(Irvine,1995)

Keterangan gambar:

A_1, A_2, A_3, A_4, A_5	: Luas tampang (m^2)
h	: Interval kontur (m)
n	: Jumlah luasan

2.1.3. Metode *Borrow Pit*

Cara menghitung volume dengan metode *borrow pit* adalah dengan membagi daerah tersebut berbentuk segiempat berjarak a , umumnya berbentuk bujur sangkar atau Empat persegi panjang. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{A}{4} (1 \times \sum h_1 + 2 \times \sum h_2 + 3 \times \sum h_3 + 4 \times \sum h_4) \quad (2.3)$$

Dimana:

A : luas penampang segiempat (m^2)

h_1 : tinggi 1 kali untuk menghitung volume (m)

h_2 : tinggi 2 kali untuk menghitung volume (m)

h_3 : tinggi 3 kali untuk menghitung volume (m)

h_4 : tinggi 4 kali untuk menghitung volume (m)

h_1	a	h_2	h_3	h_4	h_5
(1)		(2)	(2)	(2)	(1)
h_6		h_7	h_8	h_9	h_{10}
(2)		(4)	(4)	(4)	(2)
h_{11}		h_{12}	h_{13}	h_{14}	h_{15}
(2)		(4)	(4)	(3)	(1)
h_{16}		h_{17}	h_{18}	h_{19}	
(1)		(2)	(2)	(1)	

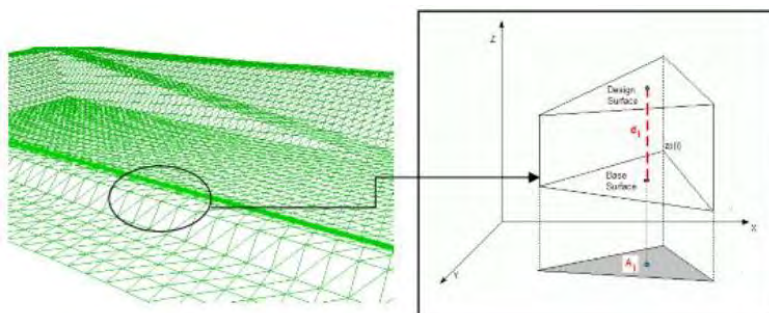
Gambar 2.3. Penentuan Volume dengan Metode *Borrow Pit*.
(Irvine, 1995)

2.1.4. Metode *Cut and Fill Point Cloud*

Metode perhitungan volume ini digunakan untuk data *point cloud* dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning*. Akuisisi data dengan menggunakan TLS menghasilkan data berupa *point cloud*. Data *point cloud* perlu dilakukan pembentukan DTM (*Digital Terrain Model*) agar obyek dapat dihitung volumenya. Perhitungan volume dilakukan dengan metode *cut and fill*.

Perhitungan volume dengan metode *cut and fill* dilakukan dengan menghitung luasan penampang atas dan penampang bawah serta jarak antara kedua penampang tersebut (geodis-ale.com).

Volume dihitung dari DTM yang dibentuk dari *Triangulated Irregular Network* (TIN). TIN membentuk suatu geometri prisma dari dua permukaan. Dua permukaan ini adalah *design surface* dan *base surface*. *Design surface* adalah permukaan yang dihitung volumenya sedangkan *base surface* adalah permukaan yang dijadikan sebagai alas. Perhitungan volume metode *cut and fill* divisualisasikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.4. Perhitungan Volume dengan Metode *Cut and Fill*
(Sumber: geodis-ale.com)

Gambar di atas menunjukkan bahwa volume total dari area dihitung dari penjumlahan volume semua prisma. Volume prisma dihitung dengan mengalikan luas bidang permukaan proyeksi (A_i) dengan jarak antara pusat massa dari dua segitiga yaitu *design surface* dan *base surface* (d_i). Rumus penghitungan volume untuk TIN dapat dilihat pada persamaan 2.4 (geodis-ale.com).

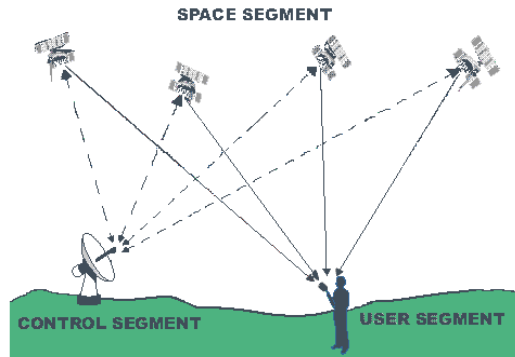
$$V = A_i \cdot d_i \quad (2.4)$$

Dimana:

- V : Volume prisma (m^3)
 A_i : Luas bidang permukaan proyeksi (m^2)
 d_i : Jarak antara pusat massa dua segitiga *surface desain* dan *base desain*(m)

2.2. Global Positioning System (GPS)

GPS (Global Positioning System) adalah sebuah sistem navigasi berbasiskan radio yang menyediakan informasi koordinat posisi, kecepatan, dan waktu kepada pengguna di seluruh dunia. Jasa penggunaan satelit *GPS* tidak dikenakan biaya. Pengguna hanya membutuhkan *GPS receiver* untuk dapat mengetahui koordinat lokasi. Keakuratan koordinat lokasi tergantung pada tipe *GPS receiver*. *GPS* terdiri dari tiga bagian yaitu satelit yang mengorbit bumi (Satelit *GPS* mengelilingi bumi 2x sehari), stasiun pengendali dan pemantau di bumi, dan *GPS receiver* (alat penerima *GPS*). Satelit *GPS* dikelola oleh Amerika Serikat. Alat penerima *GPS* inilah yang dipakai oleh pengguna untuk melihat koordinat posisi. Selain itu *GPS* juga berfungsi untuk menentukan waktu (Abidin, 2005).



Gambar 2.5. Segmen GPS
(Abidin, 2005)

2.2.1. Ketelitian GPS dalam Penentuan Posisi

Ketelitian posisi yang didapat dari pengamatan *GPS* secara umum bergantung pada 4 faktor:

- a. Ketelitian data
 - tipe data yang digunakan
 - kualitas *receiver GPS*
 - level dari kesalahan dan bias
- b. Geometri satelit
 - jumlah satelit
 - lokasi dan distribusi satelit
 - lama pengamatan
- c. Metode penentuan posisi
 - *absolute* dan *differensial positioning*
 - *static*, *rapid static*, *pseudo-kinematic*, *stop and go*, *kinematic*
 - *one* dan *multi monitor station*
- d. Strategi pemrosesan data
 - *real-time* dan *post processing*
 - strategi eliminasi dan pengkoreksian kesalahan dan bias

- metode estimasi yang digunakan
- pemrosesan *baseline* dan perataan jarring

2.2.2. Kesalahan dan Bias

Kesalahan dan bias GPS pada dasarnya dapat dikelompokkan atas kesalahan dan bias yang terkait dengan :

- Satelit, seperti kesalahan ephemeris, jam satelit, dan *selective availability* (SA)
- Medium propagasi, seperti bias ionosfer dan bias troposfer
- Receiver GPS, seperti kesalahan jam receiver, kesalahan yang terkait dengan antenna, dan noise (derau)
- Data pengamatan, seperti ambiguitas fase dan cycle *slips*
- Lingkungan sekitar GPS *receiver*, seperti *multipath* dan *imaging*.

2.3. Total Station

Total Station merupakan teknologi alat yang menggabungkan secara elektronik antara teknologi theodolite dengan teknologi EDM (*Electronic Distance Measurement*). EDM merupakan alat ukur jarak elektronik yang menggunakan gelombang elektromagnetik sinar infra merah sebagai gelombang pembawa sinyal pengukuran dan dibantu dengan sebuah reflektor berupa prisma sebagai target (alat pemantul sinar infra merah agar kembali ke EDM). *Total station* menggunakan sistem prisma dan laser untuk mengembangkan pembacaan *digital* dari seluruh pengukuran selama pekerjaan Anda. Semua *informasi* yang dikumpulkan dengan *total station* disimpan dalam sebuah komputer eksternal di mana data dapat dimanipulasi dan ditambahkan ke program CAD (*Computer Aided Design*). (Basuki, 2006).

2.3.1. Prinsip Dasar Pengukuran Sudut

Pada dasarnya pengukuran sudut dengan menggunakan *Total Station* sama dengan pengukuran sudut pada *theodolit*. Di dalam *Total Station* terdapat dua buah sumbu yang kedua sumbu tersebut terdapat suatu skala yang dapat digunakan untuk menyatakan besarnya sudut. Data sudut yang harus diketahui untuk memperoleh koordinat 3D adalah sudut vertikal dan sudut horisontal, sudut horisontal digunakan untuk mendapatkan posisi horisontal (X,Y) dan sudut vertikal digunakan untuk memperoleh posisi vertikal(Z) (Purwohardjo,1986).

2.3.2. Prinsip Dasar Pengukuran Jarak

Pengukuran jarak pada *Total Station* pada dasarnya merupakan pengukuran jarak menggunakan *Electronic Distance Meter* (EDM). Untuk memperoleh jarak, *Total Station* memancarkan suatu gelombang dari pusat lensa *Total Station* ke suatu objek yang akan diketahui posisinya kemudian menerima pantulannya. Untuk mengetahui jarak dari alat ke target dihitung berdasarkan cepat rambat gelombang yang dikalikan dengan waktu tempuhnya. Data yang diperoleh dalam pengukuran menggunakan *Total Station* pada dasarnya berupa sudut dan jarak. Pengambilan data dilakukan dengan Metode *tachymetri*. Metode *tachymetri* menggunakan metode polar untuk penentuan posisi horisontalnya (X,Y) dan menggunakan metode Trigonometri untuk perhitungan posisi tinggi (Z). Penghitungan posisi horisontal menggunakan metode polar dihitung dengan persamaan (2.5) (Purwohardjo,1986).

$$\begin{aligned} X' &= X + d \sin \alpha \\ Y' &= Y + d \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.5)$$

Dimana:

$X, Y,$: Koordinat titik acuan (m)
 $X', Y',$: Koordinat objek (m)
 α : Azimuth (Sudut jurusan) ($^{\circ}$)
 d : Jarak mendatar antar titik (m)

2.4. **Pengukuran Kerangka Kontrol**

2.4.1. **Kerangka Kontrol Horisontal**

Kerangka Kontrol Horisontal (KKH) merupakan kerangka dasar pemetaan yang memperlihatkan posisi titik satu terhadap titik lainnya di atas permukaan bumi pada bidang datar secara horisontal (Nurjati, 2005). Terdapat 2 jenis kesalahan pada pengukuran KKH, yakni kesalahan penutup sudut dan kesalahan linier (jarak). Toleransi kesalahan tersebut dapat dilihat pada persamaan (2.6) dan (2.7).

$$fB \leq i\sqrt{n} \quad (2.6)$$

Dimana :

fB : Kesalahan penutup sudut ($^{\circ}$)
 i : Ketelitian alat ukur (mm)
 n : Jumlah sudut pengukuran

$$\sqrt{fx^2 + fy^2} / \sum D = 1/2500 \quad (2.7)$$

Dimana :

$\sqrt{fx^2 + fy^2}$: Kesalahan penutup sudut ($^{\circ}$)
 $\sum D$: Jumlah jarak pengukuran (m)

2.4.2. Kerangka Kontrol Vertikal

Tinggi adalah perbedaan vertical atau jarak tegak dari suatu bidang referensi yang telah ditentukan terhadap suatu titik sepanjang garis vertikalnya. Untuk suatu negara biasanya muka air laut rata-rata (MSL) ditentukan sebagai bidang referensinya. Apabila MSL sebagai bidang referensinya, maka perluasan ke daratan disebut geoid atau datum (Nurjati, 2005).

Untuk mendapatkan tinggi suatu titik perlu dilakukan pengukuran beda tinggi antara suatu titik terhadap titik yang telah diketahui tingginya dengan metode Kerangka Kontrol Vertikal (KKV) menggunakan alat sipat datar atau *waterpass*. Perkembangan teknologi dan kebutuhan praktis serta cepat pada suatu pekerjaan memungkinkan alat ukur digital seperti *total station* untuk pengukuran tinggi atau kerangka control vertikal, meskipun ketelitian *waterpass* masih lebih tinggi.

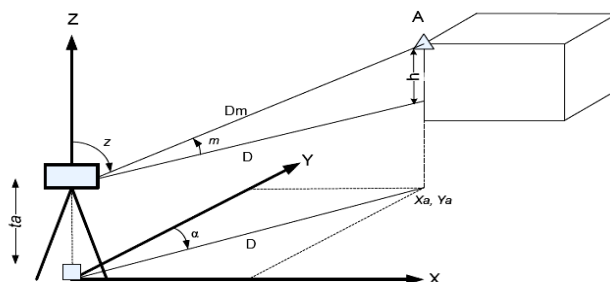
Terdapat kesalahan pada pengukuran KKV, yakni kesalahan penutup tinggi. Toleransi kesalahan tersebut nilainya harus kurang dari atau sama dengan $4\sqrt{D}$ dimana D adalah jarak antar titik pengukuran dalam satuan kilometer.

2.5. Pengukuran Metode Tachymetri

Metode *tachymetri* adalah pengukuran menggunakan alat-alat optis, elektronis, dan digital. Metode *tachymetri* didasarkan pada prinsip bahwa pada segitiga-segitiga sebangun, sisi yang sepihak adalah sebanding. Metode *tachymetri* paling bermanfaat dalam penentuan lokasi sejumlah besar detail topografik, baik horizontal maupun vertikal.

Pengukuran titik-titik detail dengan metode *tachymetri* pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan

peralatan dengan teknologi lensa optis dan elektronis digital. Dalam pengukuran titik-titik detail pada prinsipnya adalah menentukan koordinat dan tinggi titik –titik detail dari titik-titik ikat. Pengukuran titik-titik detail pada dasarnya dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu *offset* dan *tachymetri*. Metode *offset* menggunakan peralatan sederhana, seperti pita ukur, jalon, meja ukur, mistar, busur derajat, dan lain sebagainya. Metode *tachymetri* menggunakan peralatan dengan teknologi lensa optis dan elektronis digital. Pengukuran metode *tachymetri* mempunyai keunggulan dalam hal ketepatan dan kecepatan dibandingkan metode *offset*. Pengukuran titik-titik detail metode *tachymetri* ini relatif cepat dan mudah karena yang diperoleh dari lapangan adalah pembacaan rambu, sudut horizontal (azimuth magnetis), sudut vertikal (*zenith* atau inklinasi) dan tinggi alat. Hasil yang diperoleh dari pengukuran *tachymetri* adalah posisi planimetris X, Y, dan ketinggian Z. Metode *tachymetri* didasarkan pada prinsip bahwa pada segitiga-segitiga sebangun, sisi yang sepihak adalah sebanding. Kebanyakan pengukuran *tachymetri* adalah dengan garis bidik miring karena adanya keragaman topografi, tetapi perpotongan benang stadia dibaca pada rambu tegak lurus dan jarak miring direduksi menjadi jarak horizontal dan jarak vertikal (Purwaamijaya, 2008).



Gambar 2.6. Metode *Tachymetri*
(Purwaamijaya, 2008)

Keterangan gambar:

A	: Sudut jurusan (°)
m	: Sudut miring (°)
Dm	: Jarak miring (m)
D	: Jarak datar (m)
ta	: Tinggi alat (m)
\triangle	: Titik kontrol bangunan
\square	: Titik kerangka dasar

Berikut adalah perhitungan koordinat pada pengukuran metode *tachymetri*:

$$\begin{aligned}
 X &= X_a + d \cdot \sin \alpha \\
 Y &= Y_a + d \cdot \cos \alpha \\
 Z &= (sd \cdot \sin z) - (t_{\text{prisma}} - t_{\text{alat}})
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Dimana:

X,Y,Z	: Koordinat obyek (m)
Xa, Ya	: Koordinat titik sebelumnya (m)
α	: Azimuth (Sudut jurusan) (°)
d	: Jarak mendatar antar titik (m)
sd	: Jarak miring (m)
z	: Sudut zenith pada alat ukur (°)

2.6. Terrestrial Laser Scanning

Terrestrial Laser Scanning (TLS) adalah sebuah teknik menggunakan cahaya laser untuk mengukur titik-titik dalam sebuah pola secara langsung dalam tiga dimensi dari yang ada pada permukaan objek dari sebuah tempat di permukaan bumi. Hasil yang didapatkan dari pengukuran TLS ini adalah *point clouds* yang berkoordinat tiga dimensi terhadap tempat berdiri alat. *Point clouds* tersebut adalah kumpulan titik-titik dalam jumlah banyak yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan model tiga dimensi. TLS ini mempunyai kekurangan yaitu

ketidakmampuan TLS dalam mengakuisisi warna yang sesuai dengan warna aslinya. Warna yang didapatkan oleh alat TLS adalah intensitas pantulan dari benda yang ditembak oleh laser tersebut (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Menurut (Reshetyuk, 2009), TLS memiliki beberapa keunggulan bila dibandingkan dengan teknik survei tradisional lainnya seperti tachimetri, GPS, dan fotogrametri, yaitu:

1. Menangkap geometri suatu objek dalam 3-D secara langsung, cepat dan detil.
2. Dapat memangkas biaya dan dapat menyelesaikan pekerjaan jauh lebih cepat.
3. Dapat digunakan pada daerah survei atau objek yang sulit dijangkau dan berbahaya di mana teknik survei tradisional sangat sulit untuk dilakukan.
4. Tidak memerlukan cahaya untuk dapat mengakuisisi data.
5. Pemindaian yang secara lengkap dan komprehensif.
6. Data dapat digunakan untuk saat ini dan masa yang akan mendatang.

TLS juga memiliki kekurangan, yaitu tidak mampu untuk mengambil warna sesuai dengan warna tampak objek, melainkan warna yang didapatkan hanya warna intensitas dari gelombang pantulan (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

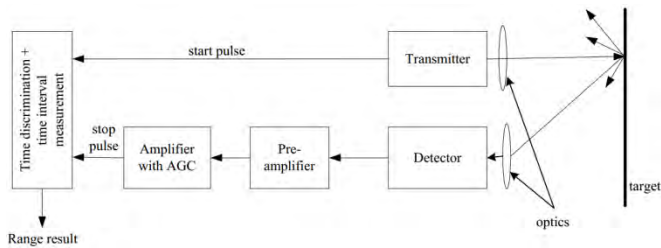
2.6.1. Prinsip Pengukuran TLS

TLS mempunyai suatu sistem pengukuran yang terdapat di dalamnya, yaitu sistem pengukuran jarak dan sistem pengukuran sudut. Sistem pengukuran ini digunakan untuk mendapatkan koordinat *point clouds*. Laser

rangefinder merupakan suatu komponen TLS yang paling berperan dalam melakukan pengukuran jarak. Pulsa laser *rangefinder* terdiri dari:

1. *Transmitter* atau pemancar pulsa
2. Penerima pulsa (terdiri dari detektor, penguat sinyal, dan *Automatic Gain Control* (AGC))
3. Pengukur waktu elektronik, unit pengukur waktu (*Time-to-digital converter* (TDC))
4. Pemancar dan penerima optis.

Mekanisme pengukuran berbasis pulsa dari laser *rangefinder* yaitu pemancar laser memancarkan dalam pulsa pendek yang terbagi menjadi dua bagian, satu dipancarkan ke penerima sinyal untuk mengaktifkan unit pengukur waktu elektronik, satu lagi dipancarkan ke objek. Ketika laser yang dipancarkan menyentuh objek, laser tersebut akan terhamburkan dan sebagian ada yang kembali ke detektor. Di dalam detektor kekuatan pancaran pulsa akan dikonversikan menjadi arus listrik yang kemudian akan diterima dan diteruskan oleh penguat sinyal yang disebut diskriminator waktu. Saat arus listrik mencapai diskriminator waktu, hal tersebut menandakan waktu kembalinya pulsa dan akan menghentikan pengukuran waktu. Interval waktu antara pulsa dipancarkan hingga kembali digunakan untuk menghitung jarak antara alat TLS dengan objek. Mekanisme pengukuran menggunakan TLS berbasis pulsa akan diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.7. Mekanisme Pengukuran TLS
(Reshetyuk, 2009)

Menurut Reshetyuk (2009), perhitungan jarak dengan TLS berbasis pulsa mengikuti pada persamaan (2.9).

$$R = \frac{c \cdot t}{2} \quad (2.9)$$

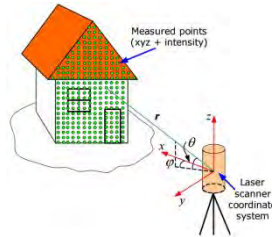
Dimana:

- R : jarak antara TLS dengan objek (m);
 c : kecepatan cahaya di udara ($\approx 3 \cdot 10^8$ m/s);
 t : waktu tempuh laser ketika dipancarkan hingga diterima (s).

Selain sistem pengukuran jarak, TLS juga mempunyai sistem pengukuran sudut yang dapat digunakan untuk mendapatkan koordinat objek. Sistem pengukuran sudut terdiri dari *angular recorders* yang berfungsi untuk mengukur arah horizontal dan sudut vertikal sinar laser TLS ke objek. Untuk mendapatkan nilai koordinat objek dengan menggunakan TLS, adapun beberapa parameter yang diukur dalam setiap objek, yaitu:

1. Jarak R (m);
2. arah horizontal (φ);
3. sudut vertikal θ ($^\circ$).

Selain melakukan ketiga pengukuran di atas terhadap setiap objek, TLS juga melakukan pengukuran intensitas pantulan sinar laser dari setiap *point clouds*. Prinsip pengukuran TLS akan diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8.Prinsip Pengukuran TLS
(Reshetyuk, 2009)

Hubungan antara data pengamatan (r , φ , θ) dan koordinat (e , n , u) dapat dituliskan dalam persamaan (2.10)(Reshetyuk, 2009):

$$X_i = \begin{bmatrix} e_j \\ n_j \\ u_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j \cos \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Dimana:

- r_j : jarak hasil pengukuran waktu tempuh laser ke objek (m)
- φ_j : sudut horizontal antara arah bidikan laser dengan sumbu-e alat ($^\circ$)
- θ_j : sudut vertikal antara bidang horizontal dengan arah bidikan laser ($^\circ$)
- e_j : koordinat e *point clouds* dalam sistem koordinat alat (m)
- n_j : koordinat n *point clouds* dalam sistem koordinat alat (m)
- u_j : koordinat u *point clouds* dalam sistem koordinat alat (m)

2.6.2. Klasifikasi *Terrestrial Laser Scanner*

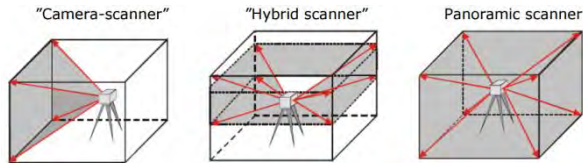
Terrestrial Laser Scanner (TLS) dibagi ke dalam dua kategori utama, yaitu TLS Dinamis dan TLS Statis. TLS Dinamis merupakan tipe TLS yang pengukurannya atau penggunaannya dilakukan dari atas wahana atau kendaraan yang bergerak. Penggunaan TLS dinamis ini lebih difokuskan kepada citra yang diperoleh dengan menggunakan beberapa video dan kamera digital yang dioperasikan secara bersamaan untuk tujuan geo-referensi langsung dan diintegrasikan dengan sistem GPS/IMU sebagai koreksi langsung data pengukuran (Adhitiaputra, 2013). TLS dinamis dapat digunakan untuk pemindaian darat ketika wahana yang digunakan bergerak atau juga dapat disebut *vehicle laser scanning*.

TLS Statis merupakan tipe TLS untuk pengukuran objek topografi yang pengukurannya dilakukan dari posisi yang tetap/diam. TLS ini melakukan pengukuran dengan mengukur jarak miring yang dilakukan dengan menggunakan laser *rangefinder* dan dua sudut yang berasosiasi dengan *encoder* sudut pada bidang horizontal dan vertikal melewati pusat dari alat. Biasanya penggunaan TLS jenis ini digunakan dalam pengukuran terhadap objek yang diam.

TLS jenis statis dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kategori, seperti ditinjau dari prinsip pengukuran, cakupan pemindaian, dan jarak tempuh laser yang digunakan. Berdasarkan prinsip pengukurannya Pengukuran jarak dengan TLS dilakukan menggunakan laser *rangefinder* dengan prinsip pengukuran berbasis pulsa atau beda fase. *Pulse Based* TLS memiliki tipe pengukuran jarak dengan menggunakan waktu tempuh laser mulai

dipancarkan hingga kembali lagi ke alat. TLS ini dapat digunakan untuk pengukuran dengan jarak objek yang cukup jauh. *Phase Difference Based* TLS memiliki tipe pengukuran jarak dengan menggunakan perbedaan fase laser saat dipancarkan dengan saat laser diterima kembali oleh alat. TLS ini biasanya hanya digunakan pada pengukuran dengan jarak yang cukup dekat, namun memiliki tingkat presisi yang lebih baik bila dibandingkan dengan TLS berbasis pulsa (Putra, 2014).

Berdasarkan cakupan pemindaianya atau *Field of View* (FOV) terdapat tiga jenis TLS, yaitu *Panoramic Scanner*, *Hybrid Scanner*, dan *Camera Scanner*. Perbedaan dari tiga jenis TLS dalam kategori ini akan diilustrasikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.9. Perbedaan 3 Jenis TLS
(Reshetyuk, 2009)

2.6.3. Teknik Registrasi Data

Karena kebanyakan objek tidak bisa di *scan* dari satu sudut pandang, dikarenakan hambatan dan halangan penglihatan, *laser scanner* harus di posisikan pada lokasi yang berbeda agar bisa melakukan *scan* secara keseluruhan. Data yang di dapat *laser scanner* dari setiap sudut pandang mengacu kepada sistem koordinat lokal. Tujuannya adalah melakukan transformasi yang menyatukan referensi koordinat dari beberapa data, yang biasa disebut registrasi. Transformasi antara dua sistem

koordinat yang berbeda \vec{x}_g dan \vec{x}_l bisa di deskripsikan secara matematis menggunakan *rigid body transformation* (Schluz, 2007).

$$\vec{x}_g = R \cdot \vec{x}_l + \vec{t} \quad (2.11)$$

Di mana:

\vec{x}_g : vektor koordinat dalam sistem koordinat global

\vec{x}_l : vektor koordinat dalam sistem koordinat lokal

R : matriks rotasi

\vec{t} : komponen translasi

Selanjutnya, faktor skala, atau matriks skala dari sumbu yang berbeda bisa diberikan. Biasanya, matriks rotasi merupakan matriks yang ortogonal, di mana harus memenuhi 3 syarat (Schluz, 2007).

$$\begin{aligned} R^T &= R^{-1} \\ R \cdot R^T &= R^T \cdot R = I \\ \det R &= \pm 1 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Di mana:

R : Matriks rotasi

R^T : tranpose dari matrks rotasi

R^{-1} : inverse dari matriks rotasi

Ada beberapa metode registrasi data *point clouds* yang bisa digunakan, teknik registrasi yang dipilih akan mempengaruhi teknik survei yang akan dilakukan nantinya sehingga harus dipilih dengan seksama berdasarkan kondisi objek dan

area di sekitar objek (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

1. *Target to target registration*

Metode registrasi ini adalah metode registrasi yang umum digunakan. Target yang digunakan dalam metode ini adalah target yang mempunyai reflektivitas tinggi dan dapat dikenali oleh alat sebagai target. Target tersebut digunakan sebagai titik ikat dari dua atau lebih tempat berdiri alat. Titik ikat tersebut yang menggabungkan kedua tempat berdiri alat sehingga mempunyai arah orientasi relatif yang sama.

2. *Cloud to cloud registration*

Registrasi ini menggunakan minimal 3 titik sekutu yang dimiliki dari kedua hasil *scan*. Konsep registrasi ini menggunakan metode *iterative closest point* (ICP). Maksud dari konsep ini adalah mencari *offset* atau jarak terdekat secara berulang – ulang dari kedua titik yang terdekat antara kedua kumpulan *point clouds*. Walaupun titik minimal yang diperlukan berjumlah 3 titik, namun untuk mendapatkan ketelitian yang baik, pertampalan dari *point clouds* harus di atas 60% sehingga akan menambah beban kerja pada proses pengambilan data.

3. *Traversing*

Registrasi *traversing* menggunakan tempat berdiri alat sebagai titik sekutu dan memerlukan satu titik referensi sebagai titik awal *backsight*. Keunggulan metode ini adalah lebih cepat dalam menyelesaikan survei karena waktu untuk persiapan alat dan target tidak terlalu lama. Akan tetapi metode ini biasanya memberikan ketelitian pengukuran yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya.

2.6.4. Rekonstruksi Permukaan dan Pemodelan

Untuk membentuk *point clouds* diawali dengan proses *data point measurement* (pengukuran data) yang dapat dilakukan dengan menggunakan alat dan metode apapun yang dapat memberikan data bentuk dari suatu objek yang dikaji. Kemudian *data point measurement* itu menghasilkan *point – point* yang menggambarkan permukaan dari objek yang biasanya disebut dengan *point clouds*. Kemudian *point clouds* itu dapat digunakan untuk membentuk model 3D. Berikut 3 jenis model yang dapat dibentuk pada proses *3D modelling* (Barnes, 2012), yaitu:

1. *Mesh Model*

Segitiga merupakan bentuk paling sederhana yang membentuk *polygon*. *Polygonal modelling* (*Meshing*) di sini menggunakan *point clouds* yang sudah dibuat dari hasil *dense surface* sebelumnya. Kemudian *point clouds* tersebut ditarik garis antar dia titik (*edge*). Dari tiga *edge* yang terhubung dapat terbentuk segitiga. *Polygon* dengan empat sisi dan segitiga adalah yang sering digunakan untuk *meshing*. Karena itu sekelompok poligon yang terhubung satu sama lain dengan titik yang sama dinamakan *mesh*.

2. *Solid Model*

Solid model adalah badan 3D yang tertutup yang memiliki properti atau atribut berupa massa, volume, titik tengah gravitasi, dan momen inersia, dimulai dari solid bentuk primitif seperti bentuk kerucut, kotak, silinder dan piramid yang kemudian dimodifikasi dan dikombinasi untuk membentuk suatu bentuk baru. Dapat juga dengan menggambarkan *ekstrusi polysolid* (bentuk solid

seperti menggambar *polyline* atau yang berbasis garis).

3. *Surface Model*

Surface model merupakan cangkang tipis yang tidak memiliki massa atau volume. Biasanya terbagi menjadi *procedural* dan NURBS (*non-uniform rational B-splines*). *Procedural* digunakan untuk mendapatkan pemodelan asosiatif. Sedangkan NURBS untuk dapat melakukan pemahatan dengan titik – titik kontrol simpul. Dalam pemodelan *surface*, model ini diawali dengan membuat model dasar menggunakan *mesh*, solid dan *prosedural surface* kemudian di konversi menjadi NURBS *surfaces*. Hal ini dimaksudkan tidak hanya agar dapat memanfaatkan *tools* unik dan bentuk primitif yang ditawarkan oleh solid dan *mesh model*, tapi juga kemampuan untuk mengubah bentuk yang diberikan oleh *surface model* pemodelan asosiatif dan NURBS *modelling*.

2.6.5. Noise Filtering

Langkah pertama dalam proses *meshing* adalah menghilangkan data *noise* dari *point clouds*. *Mesh* akan berisi segitiga yang menghubungkan *noisy point* ini untuk membenarkan *points*. Hal ini akan menghasilkan *mesh* yang penuh dengan *spike*. Oleh karena itu menghilangkan *noisy point* ini merupakan hal yang penting (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

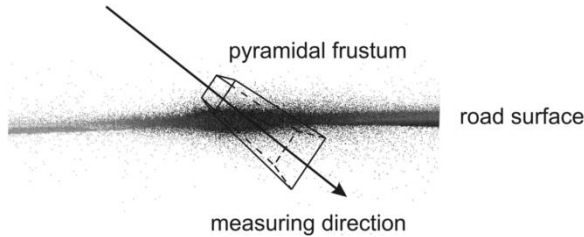
Algoritma otomatis untuk menghilangkan *noisy points* biasanya berdasarkan dua prinsip. Prinsip yang pertama adalah titik yang memiliki sedikit atau tidak ada titik lain di sekitarnya, dianggap sebagai objek asing. Mereka biasanya berasal dari orang atau benda lain yang bergerak di

depan *scanner* saat sedang proses *scanning* dan bukan merupakan bagian dari objek yang di *scan*. Titik seperti ini bisa diidentifikasi dengan mudah menggunakan beberapa setelan parameter dan dihilangkan dari *point clouds* (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Prinsip penghilangan *noise* lainnya adalah dengan menggerakkan titik sedikit untuk mendapatkan kehalusan permukaan yang optimal. Algoritma ini mencoba untuk mencocokkan bidang secara lokal terhadap titik di *point clouds*. Ketika titik pusat berada sangat jauh dari bidang yang dicocokkan, titik pusat dipindahkan ke arah bidang sehingga memberikan konsistensi bagi tetangganya (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Terdapat *noise filter* lainnya, beberapa yang khusus berdasarkan tipe *scanner*, yang lain menghilangkan kesalahan sistematis. Tentu saja saat menghilangkan *noisy points* harus berhati – hati. Fitur bisa hilang ketika *dataset* dihaluskan secara berlebihan atau menghilangkan terlalu banyak titik (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Sebagai contoh, sekumpulan data yang memiliki bias bisa di lihat pada gambar dibawah. *Noise* dari data umumnya disebabkan oleh sudut kecil insiden dan warna permukaan yang gelap. *Pyramidal frustum* dibuat sepanjang arah pengukuran. Tinggi dari *pyramidal frustum* di buat untuk menentukan ketebalan dari *noise*.



Gambar 2.10. Pendekatan Noise Filtering
(Schluz, 2007)

Penghilangan *noise* dilakukan dengan merata-rata semua titik di dalam *pyramidal frustum*. Perataan berperan sebagai *low pass filtering* yang mengurangi *noise* pada sinyal. Sinyal diasumsikan sebagai nilai *mean*. Jika titik dideskripsikan oleh koordinat lokal *scanner*, maka nilai *mean* bisa dihitung dengan:

$$h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i, v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i, s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \quad (2.13)$$

$$|h - h_i| \leq \Delta h, |v - v_i| \leq \Delta v, |s - s_i| \leq \Delta s \quad (2.14)$$

Di mana:

- n : nomor dari titik di dalam *pyramidal frustum*.
- h, v, s : titik yang dipilih
- h_i, v_i, s_i : semua titik lain dari *point cloud*
- $\Delta h, \Delta v, \Delta s$: dimensi dari *pyramidal frustum*

Apabila sebuah titik berada di dalam *pyramidal frustum*, maka titik ini ditandai sesuai (Schluz, 2007).

2.6.6. Resampling

Saat membuat *mesh*, jumlah segitiga bisa melebihi dua kali lipat dari jumlah titik. Bentuk *meshed* dari *point clouds* bisa dengan mudah membentuk sampai dengan 20 juta segitiga. Jumlah segitiga sebanyak ini bisa menjadi susah untuk dikerjakan menggunakan *hardware* yang standar. Biasanya jumlah titik harus di kurangi sebelum melakukan *meshing* dan pengurangan titik ini bisa dilakukan dengan dua cara (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Cara yang paling mudah untuk mengurangi jumlah titik adalah dengan menghapus satu titik setiap beberapa titik lainnya. Ketika berdasarkan posisi 3D spasialnya, titik bisa dihilangkan sambil menjaga cangkupan penuhnya. Tetapi teknik ini berkemungkinan membuang titik dalam area yang memiliki fitur penting dan bisa menghilangkan informasi penting (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Cara lain untuk mengurangi titik adalah dengan melihat kelengkungan dari permukaan untuk menentukan apakah bagian dari permukaan sudah halus atau terlalu melengkung. Teknik *resampling point clouds* ini bekerja secara pintar, menjaga titik yang berharga pada area dengan kelengkungan yang tinggi, sementara mengurangi titik di area yang bisa secara mudah direpresentasikan dengan sedikit titik. Dengan teknik ini, pengurangan yang baik dari ukuran *point clouds* bisa didapatkan tanpa kehilangan fitur yang penting (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

2.6.7. Self-Calibration Terrestrial Laser Scanner

Kesalahan sistematis bisa terdapat pada alat *terrestrial laser scanner* modern meskipun setelah adanya kalibrasi laboratorium yang teliti oleh manufaktur. Sejumlah penelitian telah dilakukan secara independen untuk menemukan kecenderungan sistematis pada residu *laser scanner* yang memperburuk presisi dan akurasi jarak dan sudut dari pengukuran *laser scanner* (Chow, Lichti, & Teskey, 2010).

Meskipun kebanyakan dari instrumen TLS memberikan *output* informasi spasial dalam sistem koordinat kartesian (x , y , dan z), data mentah dari pengukuran menggunakan sistem koordinat bola (ρ , θ , dan α). Sistem TLS modern beroperasi seperti *total station* dengan mekanisme *scanning* tambahan. TLS mengukur arah horizontal, vertikal, dan jarak ke satu titik, dan kumpulan dari titik ini akan menghasilkan sesuatu yang dikenal sebagai *point cloud*. Sebuah kemiripan dalam instrumentasi ini memungkinkan pemodelan kesalahan sistematis dari TLS berdasarkan prinsip *total station*, yang telah banyak di eksplorasi (Chow, Lichti, & Teskey, 2010).

2.7. Desain Kekuatan Jaring

Strength of figure adalah kekuatan dari bentuk kerangka yang digunakan untuk menentukan kekuatan kerangka dari jaring geodesi menggunakan gambar, di mana kekuatannya akan setara dengan kerangka yang akan dibuat di lapangan. Nilai *Strength of figure* dipengaruhi oleh penentuan posisi dan jumlah GCP yang digunakan, dimana hal ini akan menentukan ketelitian kerangka tersebut. Kekuatan geometrik dicerminkan dengan harga *strength of figure* yang paling kecil, hal ini akan menjamin

ketelitian yang merata pada seluruh jaringan. Sehingga dapat dipilih bentuk geometri yang baik (kuat dan kesalahan minimum). Cara yang digunakan untuk mengetahui kekuatan jaring tersebut adalah dengan mencari salah satu kemungkinan yang didapat dengan metode kuadrat terkecil (*least square*).

Pada hitung perataan kuadrat terkecil metode parameter, persamaan pengamatan suatu vektor *baseline* yang lepas dapat dituliskan dalam bentuk persamaan vektor sebagai berikut (Abidin, 2005):

$$V + B = X_B + X_A \quad (2.15)$$

Di mana B adalah data ukuran vektor *baseline* yang merupakan hasil dari perhitungan *baseline* dan merupakan parameter yang dicari. Dalam formulasi matriks dapat ditulis juga sebagai berikut:

$$V = [-11] \cdot \begin{bmatrix} X_B \\ X_A \end{bmatrix} - B \quad (2.16)$$

I merupakan matriks identitas berdimensi (3x3), dan dapat diuraikan kembali dalam formulasi berikut:

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX_{AB} \\ dY_{AB} \\ dZ_{AB} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Adapun formulasi umum yang digunakan persamaan pengamatan dari hitung perataan parameter:

$$V = AX - L \quad (2.18)$$

Di mana V adalah vektor residu, A adalah matriks desain, X adalah vektor parameter, dan L adalah vektor pengamatan. Sedangkan untuk suatu vektor *baseline* yang terikat, di mana salah satu titik ujungnya merupakan titik kontrol dan X_A sudah diketahui harganya, maka persamaan pengamatannya menjadi seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_A + dX_{AB} \\ Y_A + dY_{AB} \\ Z_A + dZ_{AB} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Adapun solusi kuadrat terkecil untuk koordinat titik-titik dalam jaringan adalah:

$$X = [A^T P A]^{-1} \cdot A^T P F$$

$$P = Q_L^{-1} = \sigma^2 \cdot C_L^{-1} \quad (2.20)$$

Dimana

- P : matriks berat dari pengamatan
- Q_L : matriks kofaktor pengamatan
- σ^2 : faktor variansi apriori
- Q_L : matriks variansi kovariansi (VCV) pengamatan

Geometri dari suatu jaringan dapat di karakterisir dengan beberapa parameter, seperti jumlah dan lokasi titik dalam jaringan (termasuk titik tetap), jumlah *baseline* dalam jaringan (termasuk *commonbaseline*), konfigurasi *baseline* dan *loop*, serta konektivitas titik dalam

jaringan (Abidin, 2002). Kekuatan jaring diformulasikan sebagai berikut:

$$SOF = \frac{\text{trace}(A^T \cdot A)^{-1}}{u} \quad (2.21)$$

Rumus diatas merupakan rumus untuk menghitung kekuatan jaring, dengan matriks desain (A) dan ukuran lebih (u) yang diperoleh dari jumlah ukuran dikurangi jumlah parameter (Anjasmara, 2005).

2.8. RMSE (Root Mean Square Error)

RMSE atau dikenal juga dengan RMS *residual* adalah nilai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil ukuran. Semakin besar nilai RMSE, maka semakin besar pula kesalahan hasil ukuran terhadap kondisi yang sebenarnya. RMSE didapatkan dari proses pembagian antara nilai akar kuadrat total selisih ukuran kuadrat dengan jumlah ukuran yang digunakan (Harvey, 2006).

Rumus menghitung RMSE disajikan pada persamaan (2.22) dan (2.23).

$$RMSE = \sqrt{\sum (R - R_1)^2 / n} \quad (2.22)$$

Dimana:

RMSE : *Root Mean Square Error*

R : Nilai yang dianggap benar

R₁ : nilai hasil ukuran

n : banyak ukuran yang digunakan

$$RMSE = \sqrt{\sum [(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2] / n} \quad (2.23)$$

Dimana:

RMSE	: <i>Root Mean Square Error</i>
X	: Nilai koordinat X yang dianggap benar (m)
X ₁	: Nilai koordinat X hasil ukuran (m)
Y	: Nilai koordinat Y yang dianggap benar (m)
Y ₁	: Nilai koordinat Y hasil ukuran (m)
Z	: Nilai koordinat Z yang dianggap benar (m)
Z ₁	: Nilai koordinat Z hasil ukuran (m)
n	: Jumlah <i>point cloud</i> yang digunakan untuk proses registrasi.

2.9. Uji Statistik t-student

Dalam melakukan uji hipotesis, ada banyak faktor yang menentukan, seperti apakah sampel yang diambil berjumlah banyak atau hanya sedikit, apakah standar deviasi populasi diketahui, apakah varians populasi diketahui, metode parametrik apakah yang dipakai, dan seterusnya (Ghilani & Wolf, 2006).

Langkah – langkah untuk menguji suatu hipotesis adalah sebagai berikut:

1. Menentukan hipotesa nol (H_0) dan hipotesa alternatif (H_a). H_0 merupakan hipotesis nilai parameter yang dibandingkan dengan hasil perhitungan dari sampel. H_0 ditolak hanya jika hasil perhitungan dari sampel tidak mungkin memiliki kebenaran terhadap hipotesis yang ditentukan. H_a diterima jika H_0 ditolak.
2. Menentukan tingkat signifikansi yang digunakan. Tingkat signifikansi merupakan standar statistik yang digunakan untuk menolak H_0 . Jika ditentukan tingkat signifikansi 10% ($\alpha = 0,1$), H_0 ditolak hanya jika hasil perhitungan dari sampel sedemikian berbeda dengan nilai dugaan (yang dihipotesakan).
3. Memilih uji statistik.

4. Menentukan statistik tabel. Nilai statistik tabel dipengaruhi oleh:

- Tingkat kepercayaan
- Derajat kebebasan
- Jumlah sampel yang didapat

5. Menentukan statistik hitung.

6. Mengambil keputusan.

Uji-t termasuk dalam golongan statistika parametrik. Statistik uji ini digunakan dalam pengujian hipotesis. Uji-t digunakan ketika informasi mengenai nilai varians (ragam) populasi tidak diketahui. Rumus yang digunakan dalam uji-t adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{\Sigma d}{\sqrt{\frac{N\Sigma d^2 - (\Sigma d)^2}{N-1}}} \quad (2.24)$$

Dimana:

- t : t-hitung
 Σd : Jumlah Selisih Tiap Titik
 N : Jumlah Titik yang Digunakan
 Σd^2 : Jumlah dari Kuadrat Selisih Tiap Titik
 $(\Sigma d)^2$: Kuadrat dari Jumlah Selisih Tiap Titik

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini antara lain:

1. Jurusan Desain Produk ITS Surabaya ($7^{\circ} 16' 44''$ LS dan $112^{\circ} 47' 47''$ BT). Obyek pada lokasi ini yakni kontainer sebagai **obyek beraturan** yang selanjutnya disebut **obyek 1**.
2. Bukit Jaddih Bangkalan, Madura ($7^{\circ} 4' 59.2''$ LS dan $112^{\circ} 45' 39.25''$ BT). Obyek pada lokasi ini yakni bukit kapur sebagai **obyek tidak beraturan** yang selanjutnya disebut **obyek 2**.



Gambar 3.1.Lokasi Penelitian

Sumber: Peta Administrasi Provinsi Jawa Timur Skala 1:200.000
Tahun 2002

3.2. Data dan Peralatan

3.2.1. Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yakni data primer atau dihimpun dari survei lapangan sebagai berikut:

1. Data koordinat titik kontrol pengukuran (*Bench Mark*) yang didapatkan dari pengukuran *Global Navigation Satellite System* (GNSS).
2. Data koordinat kerangka kontrol yang didapatkan dari pengukuran kerangka kontrol.
3. Data koordinat *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) yang didapatkan dari pengukuran *tachymetri*.
4. Data koordinat permukaan obyek yang didapatkan dari pengukuran *tachymetri*.
5. *Data point clouds* yang didapatkan dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning*.

3.2.2. Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Alat ukur
 - *GPS Topcon HiPer Pro*, dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Ketelitian statik : 3 mm
 - Jumlah stasiun : 40
 - Kapasitas data : 128 MB
 - Ketahanan daya : 14 jam
 - *Wireless* : *Bluetooth*
 - Suhu pemakaian : -30°sd. 55° C
 - Berat : 1,65 kg
 - Dimensi (mm) : 159x172x88

➤ Total Station Sokkia CX102, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Ketelitian : 2"
- Jangkauan : 0,3 – 500 m
- Kapasitas data : 2 GB
- Teknologi Laser : *Redtech EDM Reflectorless(Class I)*
- Ketahanan daya : 36 jam
- *Wireless* : *Bluetooth*
- Suhu pemakaian : -20°sd. 60° C
- Berat : 5,6 kg
- Dimensi (mm) : 348x191x181

➤ Terrestrial Laser Scanner Geomax Zoom 300 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Ketelitian : 6 mm
- Jangkauan : 2,5 – 300 m
- Kapasitas data : 32 GB
- Teknologi Laser : *Class I*
- Ketahanan daya : 4 jam
- *Wireless* : *Wifi*
- Suhu pemakaian : -10°sd. 50° C
- Berat : 6,15 kg
- Dimensi (mm) : 430x215x170

2. Perangkat keras komputer (*Hardware*)

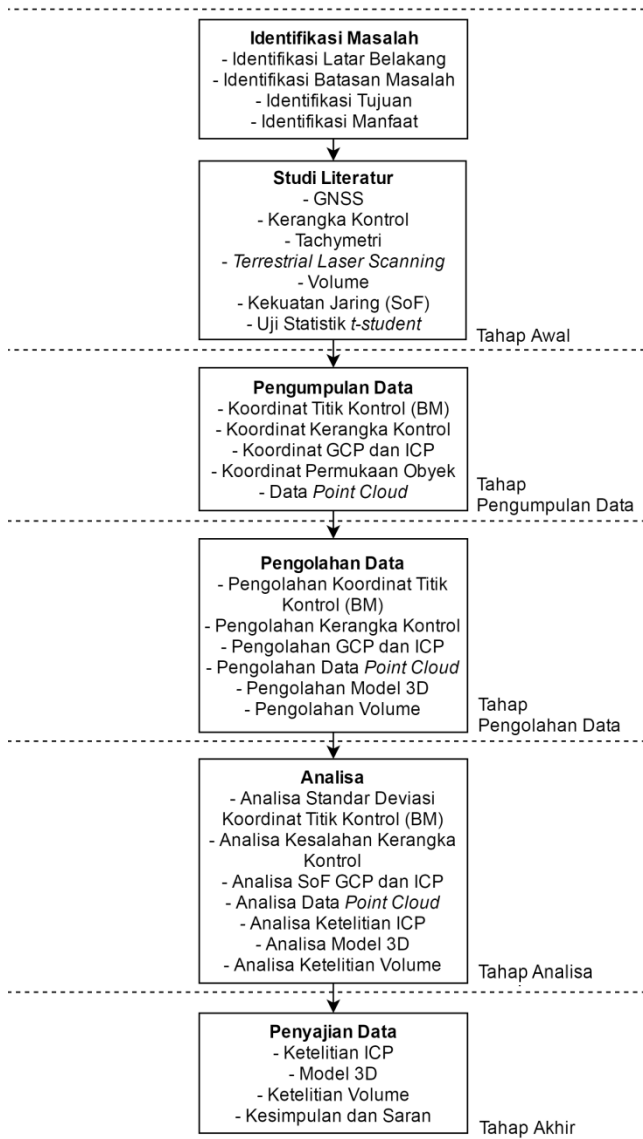
- *Personal Computer Core i3 RAM 2 GB*
- *Personal Computer Core i7 RAM 32 GB.*

3. Perangkat lunak komputer (*Software*)

- *Topcon Tools*, perangkat lunak untuk pengolahan data pengukuran GNSS
- *Sokkia Link*, perangkat lunak untuk pengolahan data dari *Total Station*
- *MicroSurvey CAD 2014 (Student Version)*, perangkat lunak untuk pengolahan data dari *Total Station*
- *AutoCAD Land Desktop*, perangkat lunak untuk perhitungan volume dari *Total Station*
- *X-PAD Multi Positioning Software*, perangkat lunak untuk pengolahan data dan perhitungan volume dari *Terrestrial Laser Scanner*
- *Microsoft Office 2013*, perangkat lunak untuk perhitungan terkait, penyajian, dan pelaporan hasil penelitian.

3.3. **Tahapan Penelitian**

Proses pengerjaan penelitian ini secara umum digambarkan dengan diagram alir di bawah ini:



Gambar 3.2. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan dari diagram alir di atas:

a. Tahap Awal

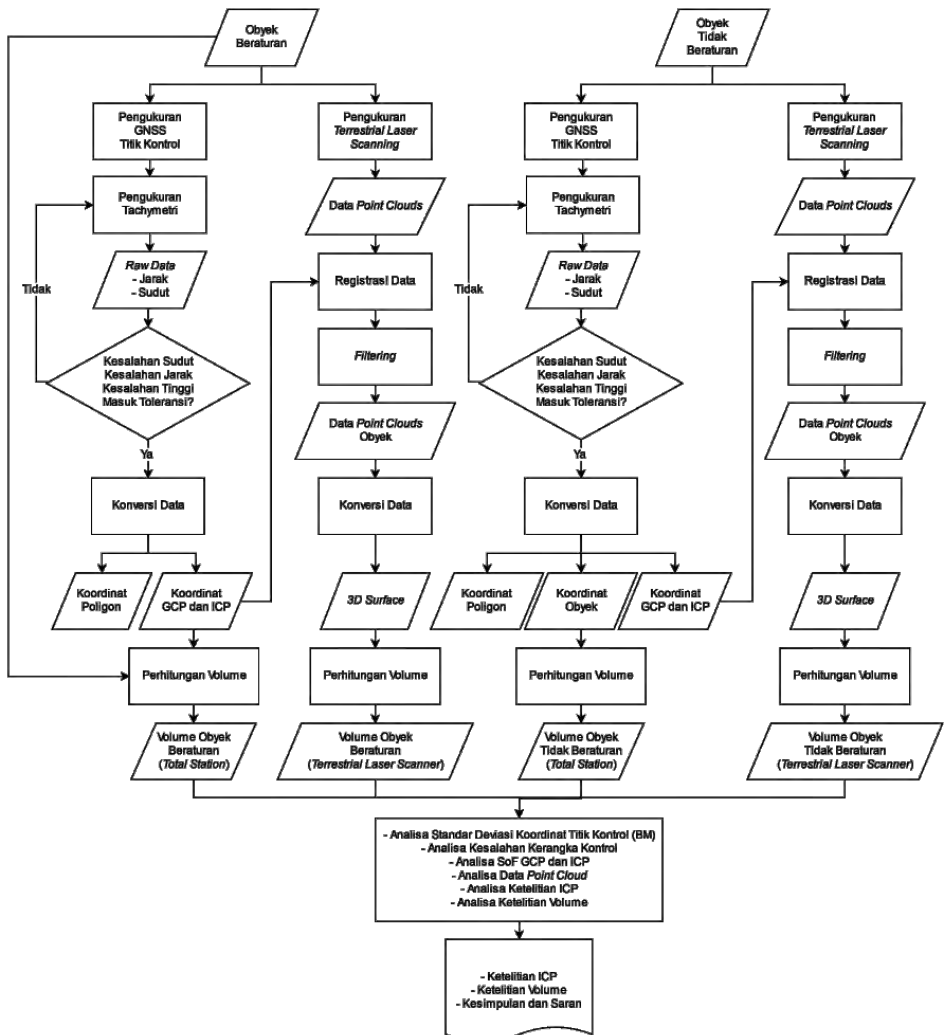
Tahap awal merupakan tahap pertama dalam penelitian ini. Pada tahap awal terdapat dua kegiatan yakni identifikasi masalah dan studi literatur. Identifikasi masalah bertujuan untuk mendalami masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini. Identifikasi dilakukan pada latar belakang, batasan masalah, tujuan, dan mafaat penelitian yang akan dilakukan. Masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah perbandingan volume yang dihasilkan dari alat ukur *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner*. Studi literatur dilakukan setelah masalah teridentifikasi. Tujuan dari studi literatur adalah mencari referensi untuk menunjang penelitian yang dilakukan. Literatur yang digunakan berupa jurnal, buku, majalah, media cetak, media elektronik, internet, dan penelitian sebelumnya.

b. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data lapangan yang akan digunakan dalam penelitian. Data tersebut antara lain data koordinat titik kontrol yang dikumpulkan dengan alat ukur GNSS (*Global Navigation Satellite System*), serta data koordinat kerangka kontrol horizontal dan kerangka kontrol vertikal, data koordinat GCP (*Ground Control Point*) dan ICP (*Independent Check Point*), dan data koordinat permukaan obyek yang dikumpulkan dengan alat ukur *Total Station*. Koordinat permukaan obyek digunakan dalam proses perhitungan volume. Selain itu, dilakukan pengumpulan data *point cloud* dengan alat ukur *Terrestrial Laser*

Scanneryang juga digunakan dalam proses perhitungan volume.

c. Tahap Pengolahan Data



Gambar 3.3. Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data

Pada tahap ini data yang telah dikumpulkan diolah hingga menjadi volume obyek. Pengolahan data dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, antara lain:

- **Pengolahan Data Pengukuran *Tachymetri***
Data pengukuran GNSS berupa koordinat titik kontrol digunakan untuk referensi pengukuran *tachymetri*. Pengukuran *tachymetri* dengan alat *total station* menghasilkan *raw data* berupa sudut dan jarak. Selanjutnya dilakukan koreksi sudut poligon pengukuran. Jika sudut poligon tidak masuk toleransi, maka pengukuran harus diulang. Kemudian dilakukan konversi dari *raw data* ke data koordinat X (*Easting*), Y (*Northing*), dan Z (*Elevation*). Jika sesuai, maka perhitungan volume dapat dilakukan. Perhitungan volume dari alat *total station* dilakukan dengan metode kontur. Ada perbedaan antara obyek 1 dan obyek 2 dalam pengolahan data ini. Pada obyek 1, selain pengukuran *tachymetri* juga dilakukan pengukuran dimensi panjang, lebar, dan tinggi obyek dengan *roll meter*. Hasil pengukuran dimensi inilah yang menjadi referensi perbandingan volume untuk obyek 1 karena hasilnya diasumsikan lebih akurat. Pada obyek 1 juga tidak dilakukan pengambilan data pada seluruh permukaan obyek, namun hanya pada GCP dan ICP karena pemilihan titik GCP dan ICP pada setiap sudut obyek sudah mewakili permukaan obyek. Pada obyek 2, hasil pengukuran *tachymetri* pada seluruh permukaan obyek menjadi referensi perbandingan volume. Jumlah data yang diambil sebanyak mungkin karena bentuknya tidak beraturan. Bentuk tidak beraturan juga tidak memungkinkan untuk

dilakukan pengukuran dimensi dengan *roll meter*.

- Pengolahan Data Pengukuran TLS
Pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* menghasilkan data yang kemudian diolah hingga mendapatkan data *point clouds*. Data *point clouds* tersebut dikalibrasi dengan proses registrasi dan *filtering*.
- Perhitungan Volume
Perhitungan volume dari data pengukuran *tachymetri* dilakukan dengan metode kontur, sedangkan perhitungan volume dari data pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* dilakukan dengan metode *cut and fill point cloud*.

d. Tahap Analisa

Pada tahap ini dilakukan analisa pada setiap tahap yang ada dalam penelitian, antara lain:

- Analisa standar deviasi koordinat titik kontrol (BM), yakni menganalisa standar deviasi dari pengukuran GNSS, mengacu pada toleransi kesalahan atau ketelitian pada alat ukur.
- Analisa kesalahan kerangka kontrol, yakni menganalisa tiga jenis kesalahan dalam pengukuran kerangka kontrol antara lain kesalahan penutup sudut, kesalahan penutup tinggi, dan kesalahan linier (jarak) mengacu pada toleransi kesalahan pengukuran kerangka kontrol.
- Analisa SoF GCP dan ICP, yakni menganalisa *Strength of Figure* atau kekuatan jaring yang dibentuk dari titik-titik GCP dan ICP yang telah ditentukan.
- Analisa data *point cloud*, yakni menganalisa pengolahan data hasil

pengukuran *Terrestrial Laser Scanning*, meliputi analisa proses registrasi dan *filtering* data, serta analisa densitas *point cloud* mengacu pada ketelitian alat ukur.

- Analisa ketelitian ICP, yakni menguji dan menganalisa ketelitian koordinat ICP dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* dengan referensi koordinat ICP dari pengukuran *tachymetri*. Pengujian dilakukan dengan uji statistik *t-student*.
- Analisa model 3D, yakni menganalisa hasil model 3D yang terbentuk dari data alat ukur *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanner*.
- Analisa ketelitian volume, yakni menguji dan menganalisa ketelitian volume dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* dengan referensi volume pada obyek 1 adalah pengukuran dimensi dengan *roll meter*, sedangkan referensi volume pada obyek 2 adalah pengukuran *tachymetri*. Pengujian dilakukan dengan uji statistik *t-student* dengan kepercayaan 90%.

Setelah analisa didapatkan, maka dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian ini secara keseluruhan.

e. Tahap Akhir

Pada tahap ini dilakukan penyajian data dan penyusunan laporan sebagai akhir dari penelitian. Data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, peta, atau dalam bentuk data lainnya.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

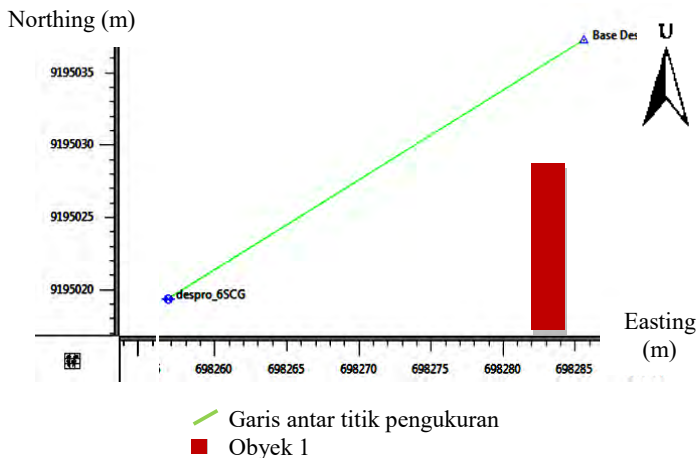
4.1. Hasil

4.1.1. Pengukuran GNSS Titik Kontrol

Dalam penelitian ini, pengukuran *Global Navigation Satellite System* (GNSS) dilakukan untuk menentukan posisi untuk referensi pengukuran pada tahapan selanjutnya dengan alat *total station* maupun *terrestrial laser scanner*. Metode pengukuran GNSS yang dipakai adalah metode statik dengan durasi perekaman data satelit selama 1 jam per titik. Sistem koordinat yang digunakan dalam penentuan posisi ini adalah *Universal Transverse Mercator* (UTM).

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Hasil dari pengukuran GNSS pada obyek 1 disajikan dalam gambar dan tabel di bawah ini:



Gambar 4.1. Sketsa Hasil Pengukuran GNSS pada Obyek 1

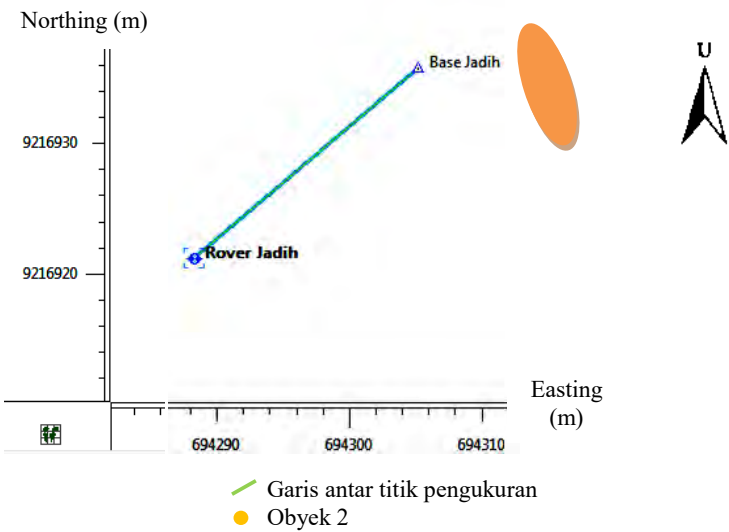
Tabel 4.1. Koordinat Titik Pengukuran GNSS pada Obyek 1

Nama Titik	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)
<i>Base Despro</i>	9195037.312	698285.586	33.382
<i>Despro_6SCG</i>	9195019.314	698256.726	33.421

Tabel 4.2. Standar Deviasi Pengukuran GNSS pada Obyek 1

Nama Titik	Standar Deviasi		
	<i>Northing(m)</i>	<i>Easting(m)</i>	<i>Elevation (m)</i>
<i>Base Despro</i>	0.000	0.000	0.001
<i>Despro_6SCG</i>	0.001	0.002	0.001

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)
Hasil dari pengukuran GNSS pada obyek 2 disajikan dalam gambar dan tabel di bawah ini:



Gambar 4.2. Sketsa Hasil Pengukuran GNSS pada Obyek 2

Tabel 4.3. Koordinat Titik Pengukuran GNSS pada Obyek 2

Nama Titik	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)
<i>Base Jaddih</i>	9216935.819	694305.153	53.316
<i>Rover Jaddih</i>	9216921.140	694288.216	53.949

Tabel 4.4. Standar Deviasi Pengukuran GNSS pada Obyek 2

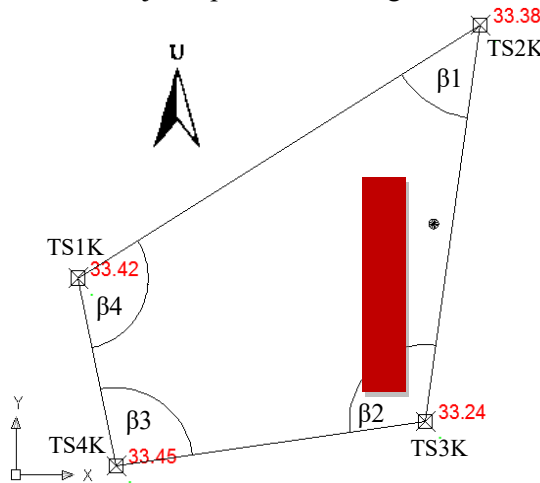
Nama Titik	Standar Deviasi		
	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)
<i>Base Jaddih</i>	0.000	0.000	0.000
<i>Rover Jaddih</i>	0.001	0.001	0.002

4.1.2. Pengukuran Kerangka Kontrol

Pengukuran ini digunakan sebagai kontrol pengukuran detail situasi metode *tachymetri*. Pengukuran keduanya menggunakan alat ukur *total station*.

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Hasil pengukuran KKH dan KKV pada obyek 1 disajikan pada tabel dan gambar di bawah ini:



Gambar 4.3. Poligon pada Obyek 1

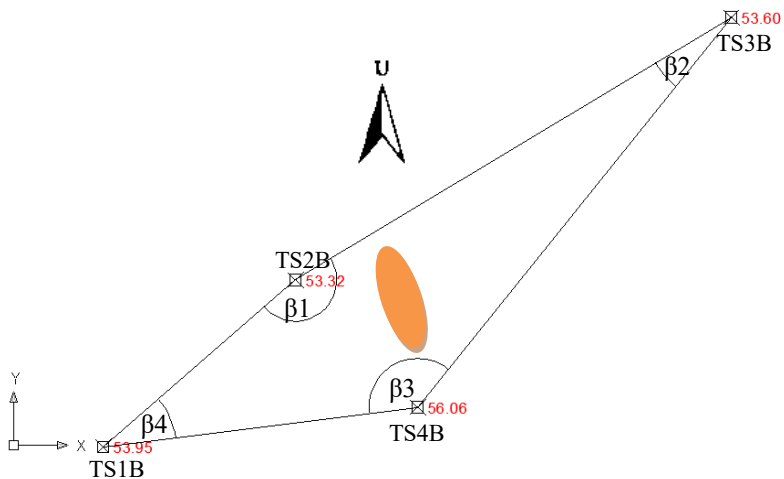
Tabel 4.5. Sudut dan Jarak Poligon pada Obyek 1

	Sudut dalam (β)	β terkoreksi	Jarak (m)
β_1	50°07'13"	50°07'12"	28.46
β_2	105°59'42"	105°59'41"	22.41
β_3	93°33'10"	93°33'09"	13.61
β_4	110°20'59"	110°19'58"	34.01
$\Sigma\beta$	360°00'04"	360°00'00"	

Tabel 4.6. Koordinat Poligon pada Obyek 1

Titik	Northing(m)	Easting(m)	Elevation (m)
TS1K	9195019.314	698256.726	33.421
TS2K	9195037.312	698285.586	33.382
TS3K	9195009.124	698281.659	33.243
TS4K	9195005.980	698259.467	33.448

- b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)
 Hasil pengukuran KKH dan KKV pada obyek 2 disajikan pada tabel dan gambar di bawah ini:



Gambar 4.4. Poligon pada Obyek 2

Tabel 4.7. Sudut dan Jarak Poligon pada Obyek 2

	Sudut dalam (β)	β terkoreksi	Jarak (m)
β_1	170°03'20"	170°03'20"	44.78
β_2	20°05'45"	20°05'45"	43.98
β_3	136°09'33"	136°09'33"	27.91
β_4	33°41'22"	33°41'22"	22.41
$\Sigma\beta$	360°00'00"	360°00'00"	

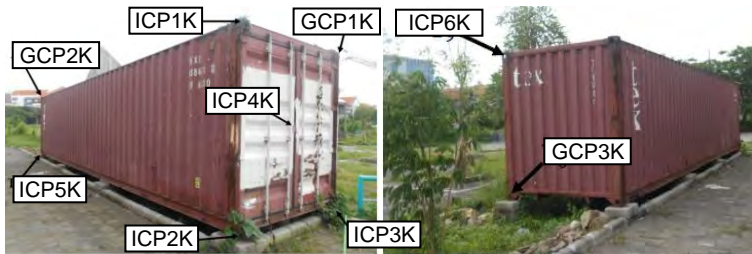
Tabel 4.8. Koordinat Poligon pada Obyek 2

Titik	<i>North</i>ing(m)	<i>Easting</i>(m)	<i>Elevation</i> (m)
TS1B	9216921.140	694288.216	53.949
TS2B	9216935.819	694305.153	53.316
TS3B	9216958.861	694343.546	53.601
TS4B	9216924.651	694315.909	56.058

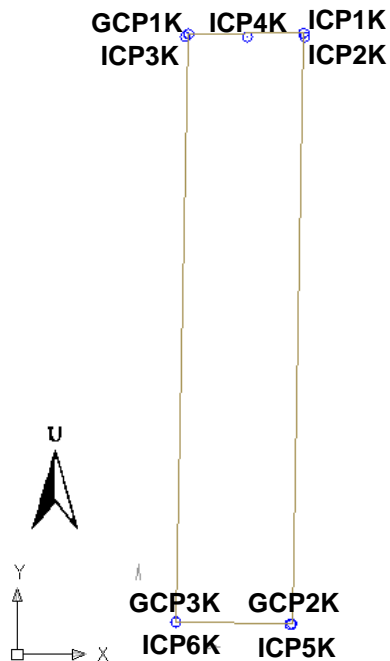
4.1.3. GCP dan ICP

Pengukuran *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) dalam penelitian ini menggunakan metode *tachymetri* dengan alat ukur *total station*. GCP digunakan untuk referensi proses registrasi data *point cloud* dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning*. Sedangkan ICP digunakan untuk referensi analisa perbandingan dengan ICP yang diambil dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning*. GCP pada obyek 1 berjumlah 3 titik, sedangkan pada obyek 2 sebanyak 4 titik. ICP pada masing-masing obyek sebanyak 6 titik.

- a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)
 Hasil pengukuran GCP pada obyek 1 disajikan pada gambar dan tabel di bawah ini:



Gambar 4.5. Letak GCP dan ICP pada Obyek 1

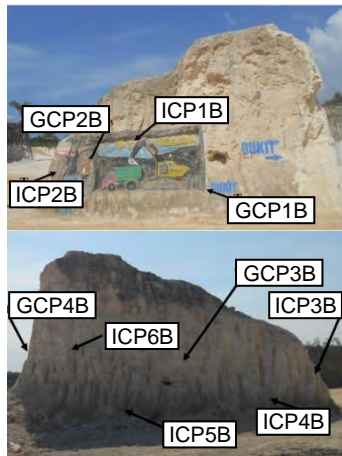


Gambar 4.6. Sketsa GCP dan ICP pada Obyek 1

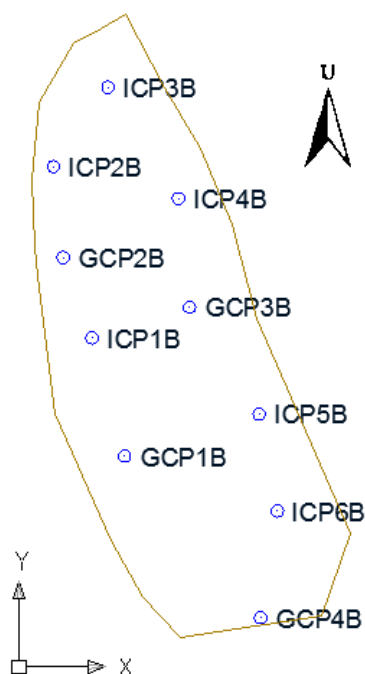
Tabel 4.9. Koordinat GCP dan ICP pada Obyek 1

Titik	<i>North</i>ing(m)	<i>Easting</i>(m)	<i>Elevation</i> (m)
GCP1K	9195022.679	698278.028	36.078
GCP2K	9195010.505	698280.208	36.013
GCP3K	9195010.553	698277.833	33.420
ICP1K	9195022.749	698280.495	36.105
ICP2K	9195022.672	698280.514	33.529
ICP3K	9195022.735	698278.094	33.492
ICP4K	9195022.675	698279.318	34.859
ICP5K	9195010.509	698280.248	33.456
ICP6K	9195010.545	698277.828	35.984

- b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)
 Hasil pengukuran GCP pada obyek 2 disajikan pada gambar dan tabel di bawah ini:



Gambar 4.7. Letak Titik GCP dan ICP



Gambar 4.8. Sketsa Titik GCP dan ICP

Tabel 4.10. Koordinat GCP dan ICP pada Obyek 1

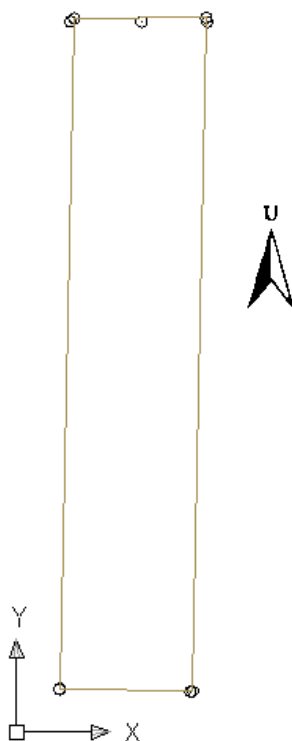
Titik	<i>Northing(m)</i>	<i>Easting(m)</i>	<i>Elevation (m)</i>
GCP1B	9216948.838	694318.254	55.322
GCP2B	9216952.106	694317.241	56.047
GCP3B	9216951.290	694319.329	55.43
GCP4B	9216946.177	694320.500	55.804
ICP1B	9216950.785	694317.719	56.533
ICP2B	9216953.606	694317.084	55.598
ICP3B	9216954.912	694317.982	55.251
ICP4B	9216953.078	694319.143	54.225
ICP5B	9216949.529	694320.475	54.482
ICP6B	9216947.931	694320.777	55.19

4.1.4. Pengukuran Detil Situasi

Titik-titik hasil dari pengukuran detil situasi metode *tachymetri* digunakan untuk perhitungan volume dan permodelan 3D dari data pengukuran *tachymetri* dengan alat ukur *total station*.

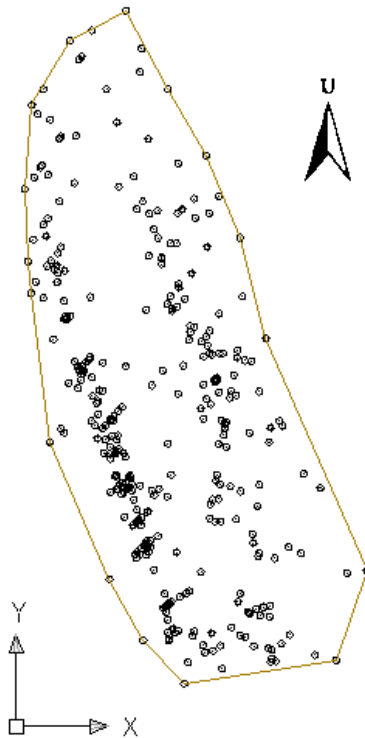
a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Sebaran titik pengukuran detil situasi pada obyek 1 disajikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.9. Sebaran Titik Pengukuran Detil Situasi pada Obyek 1

- b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)
Sebaran titik pengukuran detil situasi pada obyek 2 disajikan pada gambar di bawah ini:



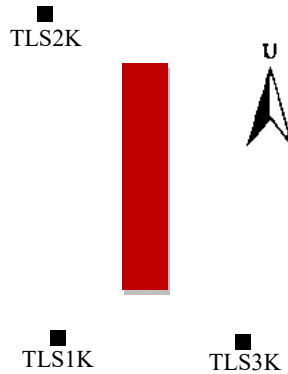
Gambar 4.10. Sebaran Titik Pengukuran Detil Situasi pada Obyek 2

4.1.5. Pengukuran Terrestrial Laser Scanning

Pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* dilakukan dengan alat ukur *Terrestrial Laser Scanner*. Pada penelitian ini, TLS berdiri sebanyak tiga kali dengan sudut horisontal pada masing-masing pengukuran adalah 90° . Waktu

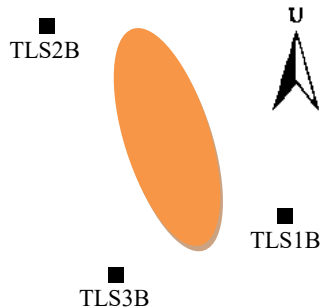
scanning dalam satu kali berdiri alat adalah selama 268 menit.

- a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)
Berikut adalah sketsa posisi *Terrestrial Laser Scanner* pada obyek1:



Gambar 4.11. Sketsa Posisi *Terrestrial Laser Scanner* pada Obyek 1

- b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)
Berikut adalah sketsa posisi *Terrestrial Laser Scanner* pada obyek 2:



Gambar 4.12. Sketsa Posisi *Terrestrial Laser Scanner* pada Obyek 2

4.1.6. Registrasi Data

Registrasi data *point cloud* pada penelitian ini menggunakan metode registrasi *Target to Target* dengan GCP referensi sebanyak 2 titik.

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Hasil proses registrasi data pada obyek 1 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.11. GCP Registrasi Data pada Obyek 1

Titik Berdiri TLS	Titik 1	Titik 2
TLS1K	GCP2K	GCP3K
TLS2K	GCP1K	GCP3K
TLS3K	GCP1K	GCP3K

Tabel 0.12. RMS Error Registrasi Data pada Obyek 1

Titik	<i>Northing</i>	<i>Easting</i>	<i>Elevation</i>
TLS1K	2 mm	0 mm	0 mm
TLS2K	0 mm	1 mm	0 mm
TLS3K	1 mm	1 mm	1 mm

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

Hasil proses registrasi data pada obyek 2 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.13. GCP Registrasi Data pada Obyek 2

Titik Berdiri TLS	Titik 1	Titik 2
TLS1B	GCP3B	GCP4B
TLS2B	GCP1B	GCP2B
TLS3B	GCP2B	GCP4B

Tabel 4.14. RMS Error Registrasi Data pada Obyek 2

Titik	<i>Northing</i>	<i>Easting</i>	<i>Elevation</i>
TLS1B	3 mm	2 mm	2 mm
TLS2B	0 mm	4 mm	2 mm
TLS3B	1 mm	3 mm	1 mm

4.1.7. Filtering Data

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Jumlah data *point cloud* pada obyek 1 sebelum proses registrasi yakni sebanyak 20.640.268 titik. Setelah dilakukan proses registrasi, tersisa sebanyak 2.014.776 titik. Berikut adalah hasil proses filtering data *point cloud* pada obyek 1:



Gambar 4.13. Obyek 1 Sebelum Proses *Filtering*

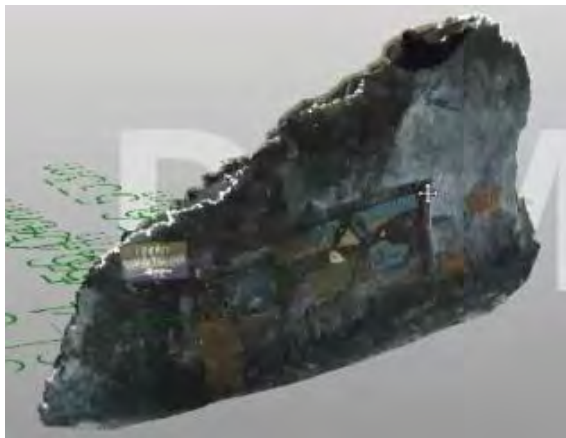


Gambar 4.14. Obyek 1 Setelah Proses *Filtering*

- b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)
Jumlah data *point cloud* pada obyek 2 sebelum proses registrasi yakni sebanyak 20.832.911 titik. Setelah dilakukan proses registrasi, tersisa sebanyak 2.686.782 titik. Berikut adalah hasil proses filtering data *point cloud* pada obyek 2:



Gambar 4.15. Obyek Sebelum Proses *Filtering*



Gambar 4.16. Obyek 2 Setelah Proses *Filtering*

4.1.8. ICP (Terrestrial Laser Scanner)

Setelah proses registrasi dan *filtering*, selanjutnya dilakukan proses *checking* ICP dari data *point cloud* untuk dibandingkan dengan ICP dari Pengukuran detil situasi dengan alat *total station*.

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Berikut koordinat ICP dari data *point cloud* pada obyek1:

Tabel 4.15. Koordinat ICP *Point Cloud* pada Obyek 1

Nama	<i>Northing(m)</i>	<i>Easting(m)</i>	<i>Elevation(m)</i>
ICP1K	9195022.752	698280.497	36.115
ICP2K	9195022.639	698280.509	33.526
ICP3K	9195022.733	698278.086	33.461
ICP4K	9195022.679	698279.305	34.857
ICP5K	9195010.526	698280.248	33.422
ICP6K	9195010.592	698277.821	35.988

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

Berikut koordinat ICP dari data *point cloud* pada obyek 2:

Tabel 4.16. Koordinat ICP *Point Cloud* pada Obyek 2

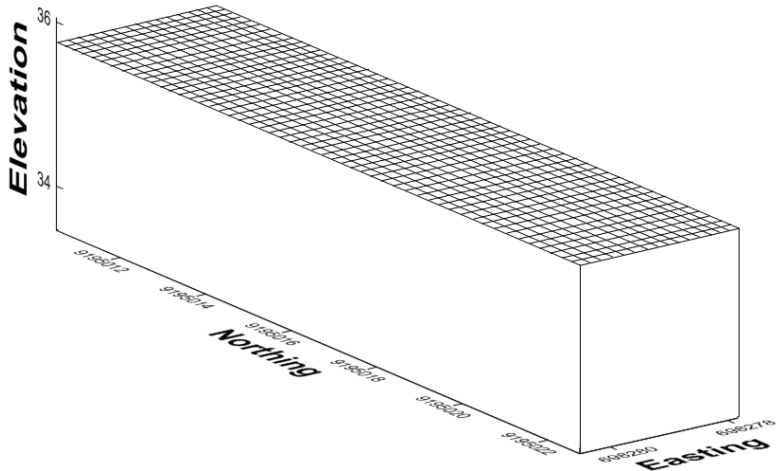
Nama	<i>Northing(m)</i>	<i>Easting(m)</i>	<i>Elevation(m)</i>
ICP1B	9216950.781	694317.752	56.539
ICP2B	9216953.631	694317.082	55.594
ICP3B	9216954.878	694317.980	55.257
ICP4B	9216953.071	694319.145	54.227
ICP5B	9216949.528	694320.475	54.481
ICP6B	9216947.935	694320.768	55.229

4.1.9. Model 3D

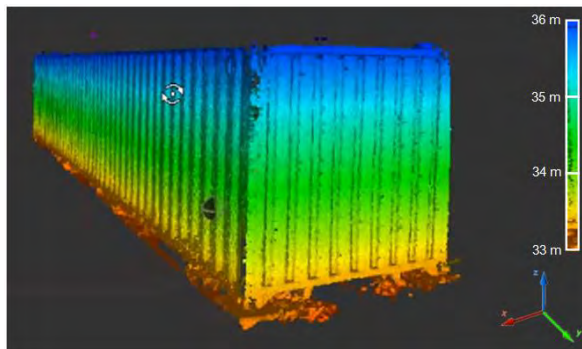
Model tiga dimensi (3D) disajikan dari data kedua pengukuran pada kedua obyek. Berikut

adalah hasil model tiga Dimensi (3D) dari masing-masing obyek:

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

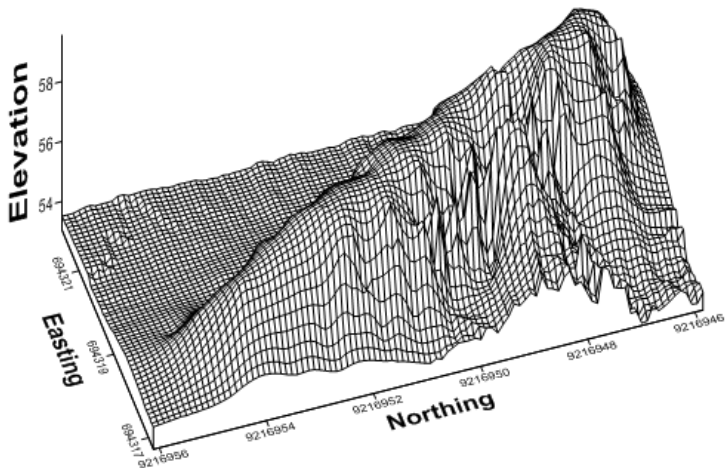


Gambar 4.17. Model 3D Obyek 1 dari Data Pengukuran
Tachymetri Skala 1:100

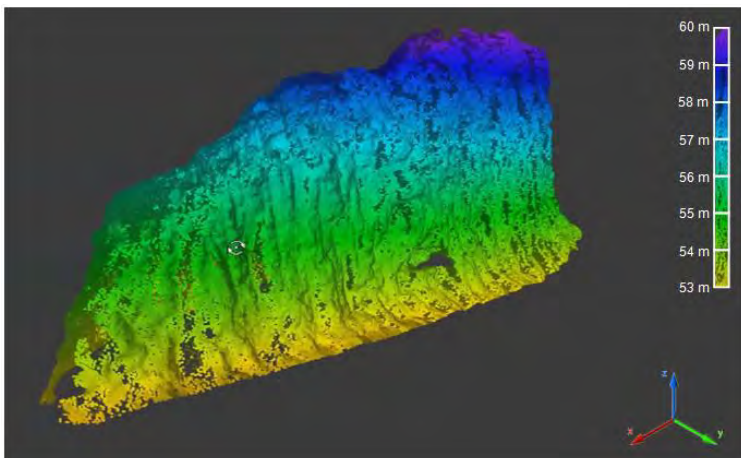


Gambar 4.18. Model 3D Obyek 1 dari Data Pengukuran
Terrestrial Laser Scanning Skala 1:100

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)



Gambar 4.19. Model 3D Obyek 2 dari Data Pengukuran *Tachymetri* Skala 1:150



Gambar 4.20. Model 3D Obyek 2 dari Data Pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* Skala 1:150

4.1.10. Volume

Perhitungan volume dari data pengukuran detil situasi dengan *Total Station* dilakukan dengan metode kontur. Sedangkan perhitungan volume dengan data *point cloud* dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* dilakukan dengan metode *cut and fill*. Berikut adalah hasil perhitungan volume:

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Pada obyek 1 juga dilakukan perhitungan volume dengan pengukuran dimensi menggunakan alat *roll meter* karena bentuknya yang beraturan dan hasilnya yang diasumsikan lebih akurat. Pengukuran ini ditetapkan sebagai volume referensi uji ketelitian volume dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning*. Berikut adalah hasil perhitungan volume pada obyek 1:

Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Volume pada Obyek 1

<i>Roll Meter</i>	<i>Total Station</i>	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
75 m ³	75.007 m ³	74.981m ³

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

Pada obyek 2 tidak dilakukan perhitungan volume dengan pengukuran dimensi karena bentuknya yang tidak beraturan. Perhitungan volume dari data alat ukur *Total Station* sebagai teknologi terdahulu ditetapkan sebagai volume referensi uji ketelitian volume dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning*. Berikut adalah hasil perhitungan volume pada obyek 2:

Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Volume pada Obyek 2

<i>Roll Meter</i>	<i>Total Station</i>	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
-	89.117m ³	89.142m ³

4.2. Analisa

4.2.1. Analisa Pengukuran GNSS Titik Kontrol

Sesuai dengan spesifikasinya, alat ukur GNSS yang digunakan pada penelitian ini memiliki standar deviasi maksimal sebesar 3 mili meter atau 0.003 meter.

- a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)
Analisa standar deviasi pengukuran GNSS pada obyek 1 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.19. Analisa Pengukuran GNSS pada Obyek 1

Nama Titik		Standar Deviasi		
		Nilai	Nilai Maks.	Ket.
Base Despro	<i>Northing</i>	0.000 m	0.003 m	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	0.000 m		
	<i>Elevation</i>	0.001 m		
Rover Despro	<i>Northing</i>	0.001 m	0.003 m	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	0.002 m		
	<i>Elevation</i>	0.001 m		

- b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)
Analisa standar deviasi pengukuran GNSS pada obyek 2 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.20. Analisa Pengukuran GNSS pada Obyek 2

Nama Titik		Standar Deviasi		
		Nilai	Nilai Maks.	Ket.
Base Jaddih	<i>Northing</i>	0.000 m	0.003 m	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	0.000 m		
	<i>Elevation</i>	0.000 m		
Rover Jaddih	<i>Northing</i>	0.001 m	0.003 m	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	0.001 m		
	<i>Elevation</i>	0.002 m		

Setiap aspek yang diuji memiliki standar deviasi yang masuk toleransi kesalahan. Dengan demikian, data pengukuran GNSS pada penelitian ini dinyatakan baik.

4.2.2. Analisa Kerangka Kontrol

Pengukuran kerangka kontrol dilakukan dengan alat *Total Station* sebagai aplikasi praktis dalam pengukuran tanpa menggunakan alat lainnya seperti *waterpass*. Pengukuran kerangka kontrol dianalisa pada tiga jenis kesalahan pengukuran kerangka kontrol, antara lain kesalahan penutup sudut, penutup tinggi, dan linier (jarak).

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Analisa kesalahan pengukuran kerangka kontrol pada obyek 1 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.21. Kesalahan Kerangka Kontrol pada Obyek 1

Kesalahan	Nilai	Nilai Maks.	Ket.
Penutup Sudut	4"	4"	Masuk Toleransi
Penutup Tinggi	1 mm	1.25 mm	Masuk Toleransi
Linier (Jarak)	0.00022	0.0004	Masuk Toleransi

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

Analisa kesalahan pengukuran kerangka kontrol pada obyek 2 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.22. Kesalahan Kerangka Kontrol pada Obyek 2

Kesalahan	Nilai	Nilai Maks.	Ket.
Penutup Sudut	0"	4"	Masuk Toleransi
Penutup Tinggi	1 mm	1.49 mm	Masuk Toleransi
Linier (Jarak)	0.00018	0.0004	Masuk Toleransi

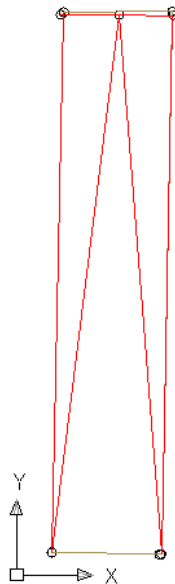
Semua nilai kesalahan kerangka kontrol pada pengukuran dalam penelitian ini masuk toleransi kesalahan. Dengan demikian, data pengukuran kerangka kontrol pada penelitian ini dinyatakan baik.

4.2.3. Analisa GCP dan ICP

Untuk mengetahui apakah persebaran GCP dan ICP sudah baik, maka dilakukan perhitungan *Strength of Figure* (SoF). Nilai SoF yang semakin kecil menunjukkan persebaran GCP dan ICP yang semakin baik.

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Berikut adalah jaring yang terbentuk dari GCP dan ICP pada obyek 1:

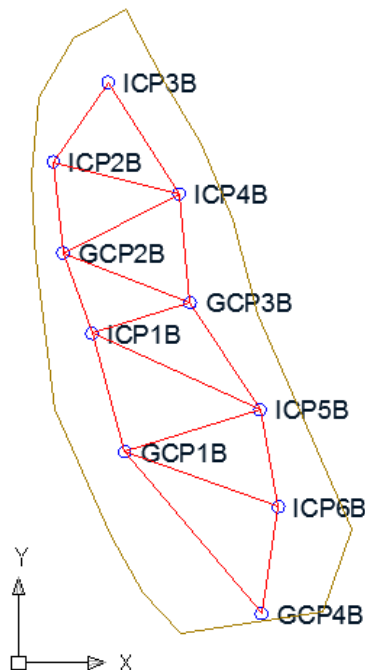


Gambar 4.21. Jaring dari GCP dan ICP pada Obyek 1

Nilai *Strength of Figure*(SoF) dari obyek 1 yakni sebesar 0.394.

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

Berikut adalah jaring yang terbentuk dari GCP dan ICP pada obyek 2:



Gambar 4.22. Jaring dari GCP dan ICP pada Obyek 2

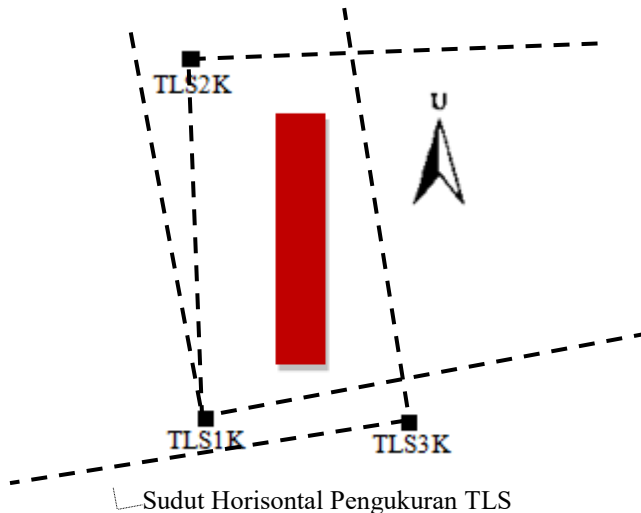
Nilai *Strength of Figure*(SoF) dari obyek 1 yakni sebesar 0.221.

Nilai *SoF* pada kedua obyek memiliki nilai yang kecil. Hal ini menunjukkan persebaran titik yang baik pada kedua obyek. Persebaran titik pada obyek 2 lebih baik karena jarak antar titik GCP dan ICP pada obyek hampir sama satu sama lain.

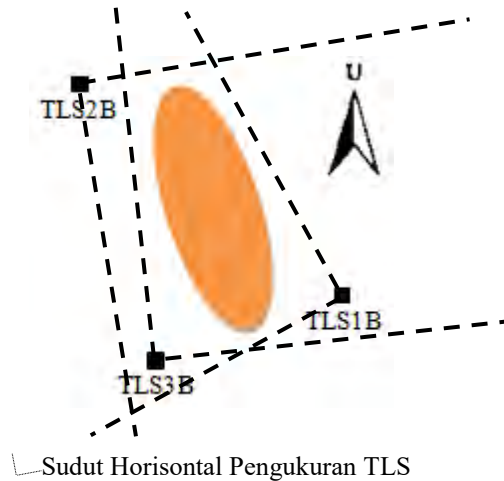
4.2.4. Analisa Pengukuran *Terrestrial Laser Scanning*

Sudut horisontal pada pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* dapat diatur sesuai kebutuhan. Pada penelitian ini, dipilih sudut 90° karena cukup untuk memuat seluruh bagian dari obyek yang berukuran relatif kecil. Selain itu, untuk mempermudah proses *filtering* dengan lebih sedikit titik yang dihapus.

Jarak berdiri alat terhadap obyek adalah 5 meter. Jarak yang dekat ditentukan untuk mempermudah pencarian obyek saat proses registrasi, serta untuk memperkecil kemungkinan adanya *noise* atau gangguan saat proses *scan* berlangsung.



Gambar 4.23. Sudut Horisontal Pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* pada Obyek 1



Gambar 4.24. Sudut Horisontal Pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* pada Obyek 2

4.2.5. Analisa Registrasi Data

Registrasi data dilakukan dengan metode *Target to Target*. Metode registrasi data ini dipilih karena lebih mudah, lebih cepat, dan lebih teliti. Lebih mudah karena tidak perlu menggunakan 2 titik sekutu seperti metode *Cloud to Cloud*. Metode registrasi ini juga lebih cepat karena hasilnya sudah *bergeoreference* tanpa melalui proses *georeferencing*. Hasil registrasi *Target to Target* lebih teliti karena *point cloud* yang dipilih tepat dan diberikan koordinat yang sama. Model yang dihasilkan juga lebih rapi daripada metode *Cloud to Cloud*. Analisa registrasi data ini dilakukan dengan mengamati *RMS Error* seperti pada tabel berikut:

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Tabel 4.23. Analisa RMS *Error* Registrasi pada Obyek 1

Nama Titik		RMS <i>Error</i>		
		Nilai	Nilai Maks.	Ket.
TLS1K	<i>Northing</i>	2 mm	6 mm	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	0 mm		
	<i>Elevation</i>	0 mm		
TLS2K	<i>Northing</i>	0 mm	6 mm	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	1 mm		
	<i>Elevation</i>	0 mm		
TLS3K	<i>Northing</i>	1 mm	6 mm	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	1 mm		
	<i>Elevation</i>	1 mm		

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

Tabel 4.24. Analisa RMS *Error* Registrasi pada Obyek 2

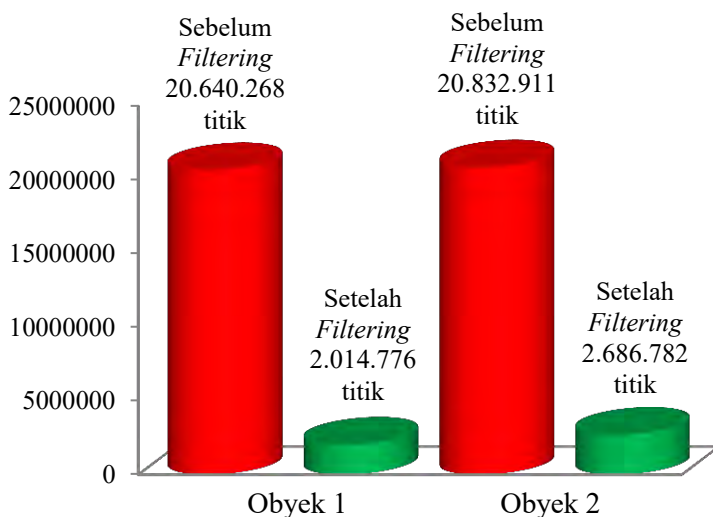
Nama Titik		RMS <i>Error</i>		
		Nilai	Nilai Maks.	Ket.
TLS1K	<i>Northing</i>	3 mm	6 mm	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	2 mm		
	<i>Elevation</i>	2 mm		
TLS2K	<i>Northing</i>	0 mm	6 mm	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	4 mm		
	<i>Elevation</i>	2 mm		
TLS3K	<i>Northing</i>	1 mm	6 mm	Masuk Toleransi
	<i>Easting</i>	3 mm		
	<i>Elevation</i>	1 mm		

Nilai RMS *Error* yang didapatkan dari proses registrasi pada semua data di bawah nilai kerapatan atau densitas antar *point cloud* yakni 6

mm. Maka, RMS *Error* dinyatakan masuk toleransi.

4.2.6. Analisa Filtering Data

Proses *filtering* dilakukan secara manual dengan menghapus *point cloud* di luar obyek hingga hanya tersisa *point cloud* yang membentuk obyek. Perbedaan antara sebelum dan setelah proses *filtering* sangat signifikan dari segi beban dan waktu pada setiap proses pemuatan dalam pengolahan data. Pada obyek 1 jumlah *point cloud* berkurang sebanyak 90,24%, sedangkan pada obyek 2 jumlah *point cloud* berkurang sebanyak 87,1%.



Gambar 4.25. Grafik *FilteringDataPoint Cloud*

4.2.7. Analisa Ketelitian ICP

Uji ketelitian dilakukan untuk ICP dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* dengan

referensi ICP dari pengukuran dengan *Total Station* menggunakan uji statistik *t student*. Kepercayaan diberikan untuk uji statistik ini sebesar 90%.

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Hasil dari uji statistik ketelitian ICP pada obyek 1 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.25. Hasil Uji Statistik ICP pada Obyek 1

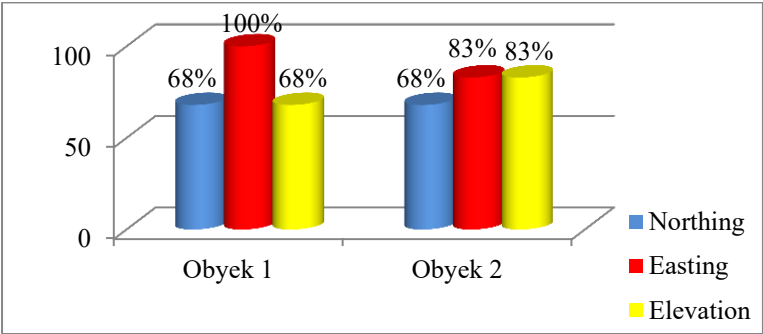
Titik		Nilai	Rentang		Keterangan
ICP1K	N o r t h i n g	9195022.752	9195022.743	9195022.755	Diterima
ICP2K		9195022.639	9195022.643	9195022.701	Ditolak
ICP3K		9195022.733	9195022.733	9195022.737	Diterima
ICP4K		9195022.679	9195022.669	9195022.681	Diterima
ICP5K		9195010.526	9195010.484	9195010.534	Diterima
ICP6K		9195010.592	9195010.512	9195010.578	Ditolak
ICP1K	E a s t i n g	698280.497	698280.478	698280.512	Diterima
ICP2K		698280.509	698280.506	698280.522	Diterima
ICP3K		698278.086	698278.080	698278.108	Diterima
ICP4K		698279.305	698279.304	698279.332	Diterima
ICP5K		698280.248	698280.240	698280.256	Diterima
ICP6K		698277.821	698277.816	698277.840	Diterima
ICP1K	E l e v a t i o n	36.115	36.082	36.128	Diterima
ICP2K		33.526	33.525	33.533	Diterima
ICP3K		33.461	33.465	33.519	Ditolak
ICP4K		34.857	34.857	34.861	Diterima
ICP5K		33.422	33.431	33.481	Ditolak
ICP6K		35.988	35.970	35.998	Diterima

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

Hasil dari uji statistik ketelitian ICP pada obyek 2 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.26. Hasil Uji Statistik ICP pada Obyek 2

Titik		Nilai	Rentang		Keterangan
ICP1B	N o r t h i n g	9216950.781	9216950.779	9216950.791	Diterima
ICP2B		9216953.631	9216953.587	9216953.625	Ditolak
ICP3B		9216954.878	9216954.889	9216954.935	Ditolak
ICP4B		9216953.071	9216953.064	9216953.092	Diterima
ICP5B		9216949.528	9216949.527	9216949.531	Diterima
ICP6B		9216947.935	9216947.923	9216947.939	Diterima
ICP1B	E a s t i n g	694317.752	694317.694	694317.744	Ditolak
ICP2B		694317.082	694317.070	694317.098	Diterima
ICP3B		694317.980	694317.961	694318.003	Diterima
ICP4B		694319.145	694319.141	694319.145	Diterima
ICP5B		694320.475	694320.471	694320.479	Diterima
ICP6B		694320.768	694320.756	694320.798	Diterima
ICP1B	E l e v a t i o n	56.539	56.523	56.543	Diterima
ICP2B		55.594	55.590	55.606	Diterima
ICP3B		55.257	55.234	55.268	Diterima
ICP4B		54.227	54.213	54.237	Diterima
ICP5B		54.481	54.474	54.490	Diterima
ICP6B		55.229	55.153	55.227	Ditolak



Gambar 4.26. Grafik Presentase ICP Diterima dalam Uji Statistik

Dari uji statistik yang dilakukan, terdapat 8 sampel yang ditolak atau tidak masuk toleransi dari 36 sampel uji. Jika dikonversi ke dalam persentase, rata-rata sebanyak 77.78% sampel uji diterima. Dengan ini dinyatakan bahwa ketelitian koordinat ICP dari *Terrestrial Laser Scanning* tergolong baik, serta tidak ada perbedaan yang signifikan antara ICP dari *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanning*.

4.2.8. Analisa Model 3D

Model tiga dimensi yang dihasilkan dari pengukuran dengan kedua alat ukur yang digunakan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.27. Analisa Model 3D

	<i>Total Station</i>	<i>Terrestrial Laser Scanning</i>
Bentuk Umum	Permukaan 3 dimensi	Kumpulan titik
Detil Bentuk	Kurang Detil	Sangat Detil
Pilihan Warna	<ul style="list-style-type: none"> • Berdasarkan Ketinggian • Hitam Putih (<i>Wireframe</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Berdasarkan Ketinggian • Berdasarkan Jarak • Berdasarkan Intensitas • Warna Asli Obyek
Penghalusan Bentuk	Otomatis	Melalui Proses <i>Meshing</i>
Bobot Model	<ul style="list-style-type: none"> • Obyek 1 : 52 KB • Obyek 2 : 66 KB 	<ul style="list-style-type: none"> • Obyek 1 : 145 KB • Obyek 2 : 160 KB

4.2.9. Analisa Volume

Volume yang didapatkan dari data pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* dengan uji statistik *t student* dengan kepercayaan 90%. Untuk obyek 1, nilai volume yang menjadi referensi adalah dari pengukuran panjang, lebar, dan tinggi dengan menggunakan *roll meter*. Sedangkan untuk obyek 2, yang menjadi referensi adalah pengukuran dengan menggunakan *Total Station*.

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

Berikut adalah hasil uji statistik volume pada obyek 1:

Tabel 4.28. Hasil Uji Statistik Volume pada Obyek 1

Nilai Volume	Rentang	Keterangan
74.981	74.946 75.053	Diterima

c. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

Berikut adalah hasil uji statistik volume pada obyek 2:

Tabel 4.29. Hasil Uji Statistik Volume pada Obyek 1

Nilai Volume	Rentang	Keterangan
89.142	89.065 89.168	Diterima

Hasil uji statistik menunjukkan ketelitian dari semua nilai volume hasil dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanning* berada di dalam rentang uji statistik. Hal ini menunjukkan ketelitian volume diterima atau masuk toleransi uji statistik pada kedua obyek. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai volume dari pengukuran dimensi, *Total Station* dan *Terrestrial Laser Scanning*.

4.2.10. Analisa Pelaksanaan Penelitian

Analisa ini berisi informasi pelaksanaan penelitian serta pembahasan mengenai kedua alat ukur dalam pekerjaan penentuan volume,serta bertujuan memberikan pertimbangan mengenai efisiensi, efektivitas, dan kesesuaian alat ukur yang dibutuhkan dalam suatu pekerjaan.Berikut adalah analisa pelaksanaan penelitian:

Tabel 4.30. Analisa Pelaksanaan Penelitian

	<i>Total Station</i>	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
<i>Merk dan Tipe</i>	<i>Sokkia CX102</i>	<i>Geomax Zoom300</i>
<i>Alat Ukur</i>		
<i>Harga Sewa</i>	<i>Rp 250.000,00</i>	<i>Rp 2.000.000,00</i>
<i>Per Hari</i>		
<i>Kecepatan</i>		
<i>Pengumpulan</i>	<i>1 titik per 0,9 detik</i>	<i>40.000 titik per</i>
<i>Data</i>		<i>detik</i>
<i>Surveyor</i>		
<i>(minimal)</i>	<i>2 orang</i>	<i>1 orang</i>
<i>Pengolahan</i>		
<i>Per 1 Data</i>	<i>1-2 jam</i>	<i>5-10 menit</i>
<i>Bobot</i>	<i>Obyek 1 : 4 KB</i>	<i>Obyek 1 : 43911 KB</i>
<i>Data</i>	<i>Obyek 2 : 13 KB</i>	<i>Obyek 2 : 51439 KB</i>
<i>Standar CPU</i>	<i>RAM 2 GB</i>	<i>RAM 32 GB</i>
<i>Pengolah Data</i>	<i>Processor Core i3</i>	<i>Processor Core i7</i>
<i>Software</i>		
<i>Pengolah Data</i>	<i>Open Source</i>	<i>Berbayar dan</i>
		<i>berlisensi</i>

Dari data di atas, penggunaan *Total Station* baik untuk pekerjaan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Pekerjaan skala area pengukuran radius kurang dari 200 meter setiap berdiri alat.
- Tidak membutuhkan model 3D yang detil.
- Tidak membutuhkan waktu yang cepat dengan target pekerjaan yang besar.
- Biaya pekerjaan yang tersedia rendah.

Penggunaan *Terrestrial Laser Scanner* lebih tepat untuk pekerjaan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Pekerjaan skala area pengukuran radius lebih dari 200 meter setiap berdiri alat.
- Membutuhkan visualisasi dan model 3D yang detil.
- Membutuhkan waktu yang cepat dengan target pekerjaan yang besar.
- Biaya pekerjaan yang tersedia tinggi.

LAMPIRAN

Lampiran 1.Spesifikasi GPS *Topcon HiPer Pro*



Description

40 channel integrated GPS+ receiver/antenna with MINTER interface.

Tracking Specifications

Tracking Channels, standard

40 L1 GPS (20 GPS L1+L2 on Cinderella² days)

Tracking Channels, optional

20 GPS L1+L2 (GD), GPS L1 + GLONASS (GG),

20 GPS L1+L2+GLONASS (GGD)

Signals Tracked

L1/L2 C/A and P Code & Carrier and GLONASS

Performance Specifications

Static, Rapid Static

H: 3mm + 0.5ppm

V: 5mm + 0.5ppm

RTK

H: 10mm + 1ppm

V: 15mm + 1ppm

Power Specifications

Battery

Internal Lithium-Ion batteries for
up to 14+ hours of operation (10 hrs TX)

External power input

6 to 28 volts DC

Power consumption

Less than 4.2 watts

GPS+ Antenna Specifications

GPS / GLONASS Antenna

Integrated

Ground Plane

Integrated flat ground plane

Radio Antenna

Center-mount UHF Antenna

Radio Specifications

Radio Type	Internal Tx/Rx UHF (Selectable frequency range)
Power Output	1.0W/0.25W (selectable)

Wireless communication*

Communication	Bluetooth™ version 1.1 comp.
---------------	------------------------------

I/O

Communication Ports	2x serial (RS232)
Other I/O Signals	1pps, Event Marker
Status Indicator	4x3-color LED's, two-function keys (MINTER)
Control & Display Unit	External Field Controller

Memory & Recording

Internal Memory	Up to 128 MB
Data Update Rate	Up to 20 times per second (20Hz)
Data Type	Code and Carrier from L1 and L2, GPS and GLONASS

Data Input/Output

Real time data outputs	RTCM SC104 ver 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, CMR, CMR+
ASCII Output	NMEA 0183 version 3.0
Other Outputs	TPS format
Output Rate	Up to 20 times per second (20Hz)

Environmental Specifications

Enclosure	Aluminum extrusion, waterproof
Operating Temperature	-30°C to 55°C
Dimensions	W:159 x H:172 x D:88 mm / 6.25 x 6.75 x 3.5 in
Weight	1.65 kg / 3.64 lbs

**Bluetooth™ type approvals are country specific. Please contact your Topcon representative for more information.*

Lampiran 2. Spesifikasi Total Station Sokkia CX Series



CX Series

CX-101/CX-102/CX-103/CX-105/CX-107

Compact Excellence Station

SPECIFICATIONS

Model	CX-101	CX-102	CX-103	CX-105	CX-107
Telescope					
Magnification / Resolving power	30x / 2.5"				
Others	Length: 171mm (6.7in.), Objective aperture: 45mm (1.8in.) (48mm (1.9in.) for EDM), Image: Erect, Field of view: 1°30' (26m/1,000m), Minimum focus: 1.3m (4.3ft.), Reticle illumination: 5 brightness levels				
Angle measurement					
Display resolution	0.5" / 1" (0.0001 / 0.0002gon, 0.002 / 0.005mil)	1" / 5" (0.0002 / 0.001gon, 0.005 / 0.02mil)			
Accuracy (ISO 17123-3:2001)	1"	2"	3"	5"	7"
IACS (Independent Angle Calibration System)	Provided		-		
Dual-axis compensator / Collimation compensation	Dual-axis liquid tilt sensor, working range: ±6' (±111mgon) / Collimation compensation available				
Distance measurement					
Laser output ¹¹	Reflectorless mode: Class 3R / Prism / sheet mode: Class 1				
Measuring range	Reflectorless ¹²	0.3 to 500m (1.0 to 1,640ft.)			
(under average conditions) ¹³	Reflective sheet ^{14,15}	RS90N-K: 1.3 to 500m (4.3 to 1,640ft.) RS50N-K: 1.3 to 300m (4.3 to 980ft.), RS10N-K: 1.3 to 100m (4.3 to 320ft.) Mini prisms CP01: 1.3 to 2,500m (8,200ft.), OR1PA: 1.3 to 500m (1,640ft.) One AP prism 1.3 to 4,000m (4.3 to 13,120ft.) / Under good conditions ¹⁶ : 5,000m (16,400ft.) Three AP prisms to 5,000m (16,400ft.) / Under good conditions ¹⁶ : to 6,000m (19,680ft.)			
Display resolution		Fine/Rapid: 0.001m / 0.01ft. / 1/8in. Tracking: 0.01m / 0.1ft. / 1/2in.			
Accuracy ²	Reflectorless ¹²	(3 + 2ppm x D) mm ¹⁷			
(ISO 17123-4:2001)	Reflective sheet ¹⁴	(3 + 2ppm x D) mm			
(D=measuring distance in mm)	AP/CP prism	(2 + 2ppm x D) mm			
Measuring time ¹⁸		Fine: 0.9s (initial 1.7s), Rapid: 0.7s (initial 1.4s), Tracking: 0.3s (initial 1.4s)			
Interface and Data management					
Display / Keyboard	Graphic LCD, 192 x 80 dots, backlight, contrast adjustment / Alphanumeric keyboard / 25 keys with backlight				
Control panel location ¹⁹	On both faces				
Trigger key	On right instrument support				
Data storage	Internal memory	Approx. 10,000 points			
	Plug-in memory device	USB flash memory (max. 8GB)			
Interface	Serial RS-232C, USB2.0 (Type A, for USB flash memory)				
Bluetooth modem (option) ^{11a}	Bluetooth Class 1, Ver.2.1+EDR, Operating range: up to 300m (980ft.) ¹¹				

General		
Laser-pointer ^{*12}		Coaxial red laser using EDM beam
Guide light ^{*12}		Green LED (524nm) and Red LED (626nm), Operating range: 1.3 to 150m (4.3 to 490ft.) ^{*2}
Levels	Graphic	6' (Inner Circle)
	Circular level	10' / 2mm
Optical plummet		Magnification: 3x, Minimum focus: 0.3m (11.8in.) from tribrach bottom
Laser plummet (option)		Red laser diode (635nm±10nm), Beam accuracy: ≤1.0mm@1.3m, Class 2 laser product
Dust and water protection		IP66 (IEC 60529:2001)
Operating temperature ^{*13}		-20 to +60°C (-4 to +140°F)
Size with handle ^{*9}		Control panel on both faces: W191 x D181 x H348mm (W7.5 x D7.1 x H13.7in.)
		Control panel on one face: W191 x D174 x H348mm (W7.5 x D6.9 x H13.7in.)
Weight with battery & tribrach		Approx. 5.6kg (12.3 lb.)
Power supply		
Battery	BDC70 detachable battery	Li-ion rechargeable battery
Operating time (20°C)	BDC70	Approx. 36 hours (single distance measurement every 30 seconds)
	External battery ^{*14} (option)	BDC60: approx. 44 hours, BDC61: approx. 89 hours (single distance measurement every 30 seconds)

Lampiran 3. Spesifikasi *Terrestrial Laser Scanner GeoMax Zoom 300*



Technical features

Max Range	300m 100% reflectivity (on white target)
Operating condititions	250m
Min Range	2.5m
Horizontal field of view	360°
Vertical field of view	90° (-25° +65°)
Scan rate	40.000 points/sec
Laser beam divergence	0.37mrad
Resolution	37mm x 37mm @ 100m
Accuracy	6mm @ 50m <10mm @ 100m

Physical specifications

Scanner size	215mm x 170mm x 430mm
Scanner weight	6.15Kg
Battery size	42m x 165mm x 120mm
Battery weight	0.85Kg
Power supply size	147mm x 63mm x 38mm
Power supply weight	0.2Kg

System specifications

Scanning optics vertically	Rotating mirror
Scanning optics horizontally	Rotating base
Laser class	Class 1 (eye safe)
Camera	2 calibrated camera
Resolution	5 megapixel each camera
Internal memory	32Gb
Data transfer	Wi-Fi, USB, Ethernet
Software on board	Dedicated Wi-Fi web interface for Smartphone and Tablet (Android, iOS and Windows Mobile)

Electrical specifications

Power supply	12V (battery or external power unit)
Power consumption	40W (on average)
Battery type	Li-Poly
Operation	>3h each battery (2 included)

Enviromental specifications

Operation temperature	-10°C + 50°C
Storate temperature	-25°C + 80°C
Humidity	Non-condensing
Protection class	IP65

Lampiran 4. Koordinat Pengukuran Detil Situasi

a. Obyek 1 (Kontainer Jurusan Despro ITS)

<i>No</i>	<i>Northing(m)</i>	<i>Easting(m)</i>	<i>Elevation (m)</i>
1	9195022.679	698278.028	36.078
2	9195010.505	698280.208	36.013
3	9195010.553	698277.833	33.420
4	9195022.749	698280.495	36.105
5	9195022.672	698280.514	33.529
6	9195022.735	698278.094	33.492
7	9195022.675	698279.318	34.859
8	9195010.509	698280.248	33.456
9	9195010.545	698277.828	35.984

b. Obyek 2 (Bukit Kapur Jaddih Bangkalan)

<i>No</i>	<i>Northing(m)</i>	<i>Easting(m)</i>	<i>Elevation (m)</i>
1	9216948.838	694318.254	55.322
2	9216950.785	694317.719	56.533
3	9216952.109	694317.243	56.047
4	9216952.106	694317.241	56.047
5	9216953.606	694317.084	55.598
6	9216947.167	694319.105	59.464
7	9216946.616	694319.595	58.978
8	9216946.587	694320.031	58.54
9	9216946.559	694320.110	57.664
10	9216946.418	694320.239	57.097
11	9216946.388	694320.465	56.375
12	9216946.361	694320.514	56.122
13	9216946.232	694320.512	55.899
14	9216946.188	694320.578	55.679
15	9216947.231	694319.207	59.527
16	9216947.054	694318.920	59.193
17	9216947.003	694318.858	58.926

18	9216947.045	694318.909	58.603
19	9216947.052	694318.918	58.333
20	9216947.071	694318.941	58.076
21	9216947.102	694318.979	57.893
22	9216947.078	694318.949	57.615
23	9216947.047	694318.911	57.461
24	9216947.021	694318.879	57.2
25	9216947.035	694318.896	56.902
26	9216946.579	694319.306	56.907
27	9216946.625	694319.030	57.739
28	9216946.653	694319.080	57.102
29	9216946.647	694319.331	56.758
30	9216946.821	694318.924	56.43
31	9216946.323	694319.494	56.285
32	9216946.687	694319.003	56.078
33	9216946.628	694318.921	55.652
34	9216946.173	694319.230	55.539
35	9216946.502	694318.937	55.447
36	9216948.096	694318.767	59.421
37	9216947.956	694318.613	59.123
38	9216947.808	694318.592	58.607
39	9216947.977	694318.588	58.247
40	9216947.958	694318.567	57.839
41	9216947.968	694318.578	57.36
42	9216948.034	694318.651	56.733
43	9216947.986	694318.598	56.053
44	9216947.912	694318.520	55.692
45	9216947.855	694318.456	55.395
46	9216947.815	694318.412	55.06
47	9216948.462	694318.602	59.382
48	9216948.303	694318.433	58.981
49	9216948.314	694318.445	58.677
50	9216948.257	694318.384	58.348
51	9216948.480	694318.622	57.8
52	9216948.381	694318.517	57.482

53	9216948.335	694318.467	57.1
54	9216948.337	694318.469	56.751
55	9216948.021	694318.596	56.14
56	9216948.495	694318.451	56.34
57	9216948.794	694318.368	56.152
58	9216948.655	694318.402	55.9
59	9216948.265	694318.510	56.004
60	9216948.699	694318.911	56.229
61	9216948.720	694318.715	56.074
62	9216947.824	694318.500	55.441
63	9216947.766	694318.436	55.087
64	9216948.388	694318.256	55.019
65	9216948.736	694318.214	55.02
66	9216948.774	694318.253	55.284
67	9216948.813	694318.292	55.667
68	9216948.837	694318.317	56.087
69	9216948.828	694318.308	56.648
70	9216948.911	694318.237	57.153
71	9216948.994	694318.318	57.862
72	9216949.019	694318.343	58.384
73	9216948.821	694318.146	58.752
74	9216948.808	694318.132	59.184
75	9216949.277	694318.046	58.8
76	9216949.354	694318.120	58.214
77	9216949.385	694318.150	57.694
78	9216949.370	694318.135	57.175
79	9216948.893	694318.363	57.887
80	9216949.025	694318.142	58.562
81	9216948.337	694318.468	57.141
82	9216949.858	694318.097	56.525
83	9216949.571	694318.137	55.758
84	9216949.460	694318.033	55.27
85	9216949.366	694317.944	54.832
86	9216949.849	694317.752	54.806
87	9216949.955	694317.852	55.155

88	9216949.859	694318.033	55.691
89	9216949.889	694318.061	56.019
90	9216949.920	694318.089	56.448
91	9216949.857	694318.031	57.06
92	9216949.793	694317.972	57.704
93	9216949.743	694317.927	58.229
94	9216950.063	694318.220	58.505
95	9216949.633	694318.152	58.521
96	9216950.743	694317.930	58.424
97	9216951.430	694317.384	58.137
98	9216951.402	694317.336	57.577
99	9216950.567	694317.589	57.802
100	9216950.127	694317.833	57.637
101	9216950.156	694317.857	57.046
102	9216950.618	694317.635	56.917
103	9216951.408	694317.369	56.82
104	9216951.420	694317.368	57.357
105	9216951.443	694317.348	56.703
106	9216950.520	694317.757	56.748
107	9216949.303	694318.270	56.697
108	9216949.362	694318.241	56.12
109	9216950.322	694317.866	55.902
110	9216950.236	694317.767	55.238
111	9216949.569	694317.968	55.233
112	9216948.909	694318.218	55.228
113	9216948.900	694318.191	55.058
114	9216949.786	694317.812	54.866
115	9216950.434	694317.402	54.653
116	9216950.753	694317.670	55.631
117	9216950.620	694317.558	55.087
118	9216950.826	694317.731	56.356
119	9216950.693	694317.620	56.773
120	9216950.582	694317.613	57.423
121	9216952.149	694317.339	57.55
122	9216952.223	694317.221	56.689

123	9216952.296	694317.129	56.05
124	9216952.220	694317.073	55.385
125	9216951.975	694316.895	54.627
126	9216952.615	694316.862	54.38
127	9216952.845	694317.015	54.963
128	9216952.939	694317.080	55.64
129	9216953.204	694317.265	56.373
130	9216953.480	694317.490	56.833
131	9216952.413	694317.234	57.261
132	9216952.171	694317.178	56.503
133	9216954.160	694317.259	55.911
134	9216953.718	694316.968	55.171
135	9216953.571	694316.871	54.695
136	9216953.572	694316.871	54.694
137	9216953.750	694316.989	55.28
138	9216950.687	694317.538	55.084
139	9216954.669	694316.839	54.251
140	9216953.388	694316.725	54.307
141	9216954.915	694317.011	54.269
142	9216952.283	694316.777	54.367
143	9216951.098	694317.171	54.602
144	9216949.586	694317.840	54.799
145	9216950.318	694317.928	56.241
146	9216949.001	694318.357	56.318
147	9216949.428	694318.169	57.8
148	9216951.686	694317.333	56.683
149	9216952.673	694317.055	55.306
150	9216947.857	694318.633	57.06
151	9216948.865	694318.499	58.055
152	9216954.912	694317.982	55.251
153	9216953.078	694319.143	54.225
154	9216953.079	694319.144	54.225
155	9216951.290	694319.329	55.43
156	9216949.527	694320.476	54.482
157	9216949.529	694320.475	54.482

158	9216947.931	694320.777	55.19
159	9216955.645	694317.417	54.079
160	9216954.532	694316.930	54.592
161	9216954.448	694317.122	55.221
162	9216954.193	694317.281	56.035
163	9216954.204	694317.517	56.59
164	9216952.508	694317.284	57.209
165	9216951.454	694317.427	58.112
166	9216950.689	694318.278	58.415
167	9216949.005	694318.120	59.037
168	9216948.791	694318.677	59.338
169	9216947.850	694319.053	59.428
170	9216947.553	694319.430	59.427
171	9216947.221	694320.031	59.085
172	9216946.918	694320.173	58.595
173	9216946.990	694320.274	57.97
174	9216947.010	694320.391	57.365
175	9216947.033	694320.490	56.615
176	9216946.593	694320.790	55.624
177	9216946.283	694321.177	55.147
178	9216946.206	694321.505	54.821
179	9216947.535	694321.673	54.198
180	9216947.836	694320.968	54.822
181	9216947.758	694320.561	55.784
182	9216947.790	694320.310	56.552
183	9216947.993	694320.236	56.72
184	9216948.354	694319.973	57.496
185	9216948.320	694319.736	58.54
186	9216949.890	694319.472	57.874
187	9216949.502	694319.697	57.179
188	9216948.856	694319.880	56.646
189	9216948.779	694320.038	56.075
190	9216949.672	694320.176	54.95
191	9216950.299	694320.324	54.269
192	9216950.766	694320.209	54.209

193	9216948.829	694321.261	54.136
194	9216948.835	694321.258	54.137
195	9216951.751	694320.068	54.063
196	9216950.185	694319.519	55.071
197	9216950.836	694319.475	55.077
198	9216950.466	694319.677	55.296
199	9216950.239	694319.972	55.056
200	9216950.881	694319.764	54.644
201	9216952.647	694320.029	54
202	9216950.881	694319.713	54.713
203	9216950.488	694319.637	55.865
204	9216949.458	694319.820	56.747
205	9216948.885	694319.726	57.31
206	9216948.660	694319.703	58.032
207	9216948.319	694319.646	58.796
208	9216948.875	694320.326	55.035
209	9216948.131	694320.219	56.329
210	9216950.509	694319.669	55.459
211	9216950.443	694319.643	56.303
212	9216950.107	694319.584	57.137
213	9216950.040	694319.431	57.759
214	9216951.534	694318.984	57.386
215	9216952.374	694318.631	57.147
216	9216952.777	694318.710	56.012
217	9216951.550	694318.592	57.546
218	9216953.585	694318.404	56.517
219	9216954.406	694318.145	55.68
220	9216948.369	694319.566	58.81
221	9216948.656	694319.614	58.382
222	9216948.944	694319.663	58.027
223	9216949.029	694319.677	57.421
224	9216949.636	694319.779	56.367
225	9216949.635	694319.779	56.367
226	9216949.806	694319.808	56.046
227	9216950.204	694319.875	55.451

228	9216950.929	694319.997	54.248
229	9216950.820	694319.979	54.399
230	9216950.556	694319.935	54.561
231	9216950.310	694319.893	54.921
232	9216949.838	694319.814	55.87
233	9216949.741	694319.798	56.08
234	9216948.815	694318.789	59.309
235	9216949.506	694318.927	58.722
236	9216950.263	694319.078	58.111
237	9216950.699	694319.164	57.558
238	9216951.092	694319.243	57.345
239	9216951.202	694319.265	56.903
240	9216952.508	694319.525	54.207
241	9216949.033	694318.130	59.011
242	9216950.410	694319.467	57.315
243	9216950.882	694319.561	55.721
244	9216950.866	694319.598	55.009
245	9216951.487	694319.711	54.25
246	9216953.897	694319.508	54.003
247	9216951.945	694319.093	54.96
248	9216951.594	694319.068	56.319
249	9216951.574	694318.987	57.084
250	9216950.620	694318.843	58.003
251	9216950.394	694318.675	58.352
252	9216951.745	694317.736	57.92
253	9216952.329	694318.827	56.535
254	9216952.342	694318.827	56.979
255	9216951.718	694319.182	55.351
256	9216952.104	694319.288	54.444
257	9216954.909	694318.921	54.016
258	9216953.021	694319.556	54.037
259	9216955.532	694318.519	54.01
260	9216955.365	694317.563	54.373
261	9216953.063	694318.766	55.03
262	9216951.888	694319.096	55.263

263	9216950.289	694319.704	56.123
264	9216951.063	694319.434	56.541
265	9216951.137	694319.511	54.706
266	9216953.017	694318.639	55.868
267	9216947.834	694320.326	56.339
268	9216953.020	694319.074	54.325
269	9216951.108	694320.427	54.076
270	9216951.306	694319.265	56.4
271	9216948.584	694319.575	58.58
272	9216951.635	694318.916	57.307
273	9216953.087	694318.447	56.921
274	9216953.424	694318.170	56.842
275	9216954.150	694318.622	54.226
276	9216955.407	694317.600	54.286
277	9216951.226	694319.562	54.58
278	9216956.109	694318.284	53.971
279	9216953.243	694319.324	54.059
280	9216949.851	694320.637	54.181
281	9216947.567	694321.974	54.215
282	9216949.045	694321.008	54.213
283	9216952.557	694319.056	54.738
284	9216952.950	694319.346	54.135
285	9216952.647	694318.775	55.883
286	9216952.245	694318.827	57.057
287	9216947.018	694320.386	57.289
288	9216948.555	694320.297	55.782
289	9216949.777	694320.685	54.188
290	9216951.752	694318.961	56.591
291	9216950.774	694320.105	54.266
292	9216953.199	694318.539	55.5
293	9216949.750	694320.500	54.32
294	9216952.563	694318.962	54.908
295	9216951.007	694319.530	55.99
296	9216949.862	694319.748	56.135
297	9216955.809	694317.757	54.039

298	9216955.174	694318.494	54.015
299	9216953.780	694319.085	54.038
300	9216953.283	694319.707	53.992
301	9216947.257	694319.256	59.431
302	9216946.703	694319.901	58.89
303	9216947.093	694319.999	59.051
304	9216946.939	694320.152	58.258
305	9216946.888	694320.342	57.632
306	9216946.869	694320.484	56.702
307	9216946.456	694320.666	55.886
308	9216949.033	694318.977	59.528
309	9216946.436	694319.459	58.693
310	9216946.346	694319.618	57.735
311	9216946.426	694319.730	56.512
312	9216946.075	694319.758	55.636
313	9216945.850	694319.171	54.892
314	9216946.529	694318.935	55.535
315	9216946.942	694318.902	56.576
316	9216947.585	694318.710	57.412
317	9216947.219	694318.873	58.083
318	9216947.930	694318.655	59.241
319	9216948.770	694318.041	58.946
320	9216950.480	694317.592	57.994
321	9216949.354	694318.028	58.276
322	9216950.760	694317.500	57.801
323	9216951.968	694317.221	56.498
324	9216951.969	694317.229	55.632
325	9216951.727	694317.017	54.506
326	9216949.526	694317.114	54.412
327	9216951.799	694316.823	54.255
328	9216949.729	694317.287	54.433
329	9216947.440	694318.028	54.602
330	9216946.508	694318.549	54.572
331	9216947.816	694318.434	55.263
332	9216950.003	694318.162	55.956

333	9216949.364	694318.117	57.262
334	9216950.352	694317.548	54.809
335	9216949.673	694317.336	54.436
336	9216946.177	694320.500	55.804

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan volume yang telah dilakukan pada obyek 1, dari pengukuran dimensi didapatkan nilai volume sebesar 75 m^3 , dari alat ukur TS didapatkan nilai volume sebesar 75.007 m^3 , dan dari alat ukur TLS didapatkan nilai volume sebesar 74.981 m^3 . Pada obyek 2 dari alat ukur TS didapatkan nilai volume sebesar 89.117 m^3 , dan dari alat ukur TLS didapatkan nilai volume sebesar 89.142 m^3 . Perbedaan nilai volume satu sama lain dari kedua alat ukur pada kedua obyek tidak signifikan.
2. Berdasarkan uji statistik *t-student* yang telah dilakukan pada ketelitian ICP dari pengukuran TLS terdapat 8 sampel yang ditolak dari 36 sampel atau 77.78% sampel berada di dalam rentang uji statistik. Hal ini menunjukkan ketelitian volume diterima atau masuk toleransi uji statistik pada kedua obyek jika dibandingkan dengan TS sebagai teknologi terdahulu.
3. Berdasarkan uji statistik *t-student* yang telah dilakukan pada ketelitian volume semua nilai volume hasil dari pengukuran TLS berada di dalam rentang uji statistik. Hal ini menunjukkan ketelitian volume diterima atau masuk toleransi uji statistik pada kedua obyek jika dibandingkan dengan TS sebagai teknologi terdahulu.

5.2. Saran

1. Pengambilan data menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* sebaiknya menggunakan sudut horisontal yang sesuai untuk meringankan beban data dan supaya tidak banyak data yang dihapus dalam proses *filtering*.
2. *Terrestrial Laser Scanner* lebih tepat untuk pekerjaan dalam skala besar seperti bidang pertambangan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2005. *Survey Dengan GPS*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Anjasmara, I. M. 2005. *Sistem Tinggi*. Surabaya: Pendidikan dan Pelatihan (DIKLAT) Teknis Pengukuran dan Pemetaan Kota.
- Barnes, A. 2012. Penggunaan Metode Fotogrametri Rentang Dekat dan Laser Scanning dalam Pembuatan Dense Point Cloud (Studi Kasus: Candi Cangkuang). *Undergraduate Thesis, Bandung: Departement of Geodetic Engineering, Institut Teknologi Bandung*.
- Basuki, Slamet, 2006. *Ilmu Ukur Tanah*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Chow, J., Lichti, D. D., & Teskey, W. F. 2010. Self-Calibration of the Trimble (MENSI) GS200 Terrestrial Laser Scanner. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII*.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. 2006. *Adjustment Computation: Spatial Data Analysis* (4th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Harvey, Bruce R. 2006. *Practical Least Squares: And Statistics for Surveyors*. New South Wales: School of Surveying and Spatial Information Systems.
- Irvine, W. 1995. *Penyigian untuk Konstruksi*. Bandung: Penerbit ITB.

- Nurjati, Chatarina. 2005. *Modul Ajar Ilmu Ukur Tanah 1*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Purwaamijaya.2008. *Teknik Survei dan Pemetaan Jilid 3*. Bandung: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Purwohardjo, U. 1986. *Ilmu Ukur Tanah Seri A*. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika.Institut Teknologi Bandung.
- Putra, R. A. 2014. Pemodelan 3D Menggunakan Teknologi Terrestrial Laser Scanner (Objek Studi: Masjid Al Irsyad Kota Baru Parahyangan). *Undergraduate Thesis, Bandung: Departement of Geodetic Engineering, Institut Teknologi Bandung*.
- Quintero, M. S., Genechten, B. V., Heine, E., & Garcia, J. L. 2008. *Tools for Advanced Three-dimensional Surveying in Risk Awareness Project (3DRiskMapping)*. Leonardo da Vinci Programme of the European Union.
- Reshetyuk, Y. 2009. *Self-Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanning*. Stockholm: VDM Verlag.
- Schluz, T. 2007. *Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy. Dissertation, Berlin: Dipl-Ing, Technical University of Berlin*.
- Yakara, M. and Yilmazb, H.M. 2008.*Using In Volume Computing Of Digital Close Range Photogrammetry*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B3b. Beijing.

<URL:<http://www.geodis-ale.com/ArticleCalculationVolume.pdf>>. Diakses pada tanggal 31 Mei 2016, jam 12.00.

<URL:http://www.geomax-positioning.com/SPS-Zoom300_1341.htm>. Diakses pada tanggal 23 Februari 2016, jam 14.00.

<URL:http://www.topcon.co.jp/en/positioning/sokkia/products/pdf/CX_E.pdf>. Diakses pada tanggal 23 Februari 2016, jam 14.00.

<URL:<http://www.topcosmica.pt/pdf/equipamentos1.pdf>>. Diakses pada tanggal 23 Februari 2016, jam 14.00.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PROFIL PENULIS



Penulis lahir di Surabaya, pada 20 Agustus 1994. Pendidikan dasar hingga perguruan tinggi ditempuh dan diselesaikan penulis di Surabaya. Penulis memulai pendidikan Strata 1 di Jurusan Teknik Geomatika FTSP ITS pada tahun 2012 dengan Nomor Registrasi Peserta (NRP) 3512100083. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif di berbagai kegiatan organisasi. Penulis juga aktif dalam beberapa proyek bidang Terestris. Penulis memilih bidang geospasial dengan sub bidang fotogrametri dalam penulisan tugas akhir yang berjudul “**Studi Penentuan Volume dengan *Total Station dan Terrestrial Laser Scanner***”.